

Die Unterbrechungsfunktion der Überraschung:
Ein neues experimentelles Paradigma und eine Überprüfung der
Automatizitätshypothese

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
an der
Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft
der Universität Bielefeld

vorgelegt von
Gernot Horstmann
im Februar 2001

Für Marla und Tom

Mein Dank gilt Wulf-Uwe Meyer, dessen Interesse eine wichtige Motivation für mich war und in dessen Arbeitseinheit ein so produktives und angenehmes Arbeiten möglich ist; Achim Schützwohl, Michael Niepel und Rainer Reisenzein, mit denen ich in vielen Diskussionen Argumente und Ansichten klären konnte; Lily-Maria Silny half mir bei verschiedensten technischen Problemen; und Sonja Bockermann half mir bei der Aufnahme der Literatur.

Tobias Haupt und Björn Krämer führten den Hauptteil der hier berichteten Experimente durch und halfen bei ihrer Vor- und Nachbereitung. Auch Dominik Bach, Patrick Otto, Katrin Holtmann und Sabine Dlugosch möchte ich an dieser Stelle für ihre Hilfe bei den Experimenten danken, die ich im Zeitraum der Entstehung dieser Arbeit durchgeführt habe.

Vielen Dank an Simone Horstmann und unsere Kinder Marla und Tom für ihr Vertrauen und ihre Unterstützung. Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern danken. Ihre Bedeutung für das Zustandekommen dieser Arbeit kann kaum überschätzt werden.

Bielefeld, im Juni 2001

Gernot Horstmann

Inhalt

Überblick über den Aufbau und die Zielsetzung der Arbeit.....	7
Die Emotion Überraschung und ihre Unterbrechungsfunktion	10
Überraschung	10
Ein kognitiv-evolutionäres Modell der Überraschung.....	12
Empirische Untersuchungen zum kognitiv-evolutionären Modell der Überraschung	18
Die Unterbrechungsfunktion der Überraschung	20
Empirische Arbeiten zur Unterbrechungsfunktion der Überraschung.....	23
Läßt sich die bisher dargestellte Befundlage auch ohne die Annahme einer spezifischen Unterbrechungsfunktion erklären?	29
Automatizität	34
Die klassische Sichtweise der Automatizität	35
Tests der Automatizität für einen psychischen Mechanismus: Das Beispiel der automatischen Orientierung der Aufmerksamkeit	40
Die revidierte Sichtweise der Automatizität	46
Automatizität von Überraschung	60
Automatizität der Unterbrechungsfunktion	60
Automatizität anderer im Zusammenhang mit Überraschung auftretender Prozesse.	66
Ein Paradigma zur Untersuchung der Unterbrechungsfunktion der Überraschung....	68
Experiment 1	73
Methode	76
Ergebnisse	82
Diskussion.....	86
Experiment 2.....	87
Methode	88
Ergebnisse	90
Diskussion.....	96
Experiment 3.....	98
Methode	100
Ergebnisse und Diskussion	101
Gemeinsame Diskussion der Experimente 1-3	106
Experiment 4.....	112

Methode	116
Ergebnisse	122
Diskussion.....	129
Experiment 5.....	133
Methode	134
Ergebnisse	135
Diskussion.....	140
Abschließende Diskussion.....	144
Belege für eine Unterbrechungsfunktion der Überraschung	144
Belege für eine interferenzfreie Unterbrechung	148
Belege für eine nichtintentionale Unterbrechung	150
Unterbrechung kognitiver Prozesse vs. Unterbrechung motorischer Prozesse	152
Unterbrechung aller oder nur einer Teilmenge kognitiver Prozesse	153
Bewertung des Kontinuierlichen Paradigmas.....	158
Ausblick: Eine Untersuchung der Kriterien von Automtizität als Forschungsprogramm für die Untersuchung der kognitiven Mechanismen der Emotionsgenese am Beispiel der Überraschung	160
Literatur.....	161

DIE UNTERBRECHUNGSFUNKTION DER ÜBERRASCHUNG: EIN NEUES EXPERIMENTELLES PARADIGMA UND EINE ÜBERPRÜFUNG DER AUTOMATIZITÄTSHYPOTHESE

Überblick über den Aufbau und die Zielsetzung der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wird eine Komponente der Emotion Überraschung, nämlich die Unterbrechungsfunktion, theoretisch und empirisch untersucht. Mit dem Begriff der Unterbrechungsfunktion ist diejenige Eigenschaft von Überraschung gemeint, Denkvorgänge und äußere Handlungen zu unterbrechen. Die zwei hauptsächlichen Säulen der theoretischen Analyse sind dabei einerseits das kognitiv-evolutionäre Modell der Überraschung von Meyer und Mitarbeitern sowie andererseits das kognitionspsychologische Konzept der Automatizität.

Der theoretische Teil der Arbeit gliedert sich in drei Kapitel. Im ersten Kapitel erfolgt zunächst eine Darstellung des kognitiv-evolutionären Modells der Überraschung sowie der paradigmatischen Vorgehensweise bei der Untersuchung von Überraschung. Anschließend wird die Betrachtung auf die Unterbrechungsfunktion eingeeengt. Hierbei werden bisherige theoretische Überlegungen zur Unterbrechungsfunktion, wie sie sich in der Literatur finden lassen, dargestellt und um eigene Überlegungen ergänzt. Im Anschluß daran werden die für eine Untersuchung der Unterbrechungsfunktion relevanten empirischen Arbeiten dargestellt. Auf der Grundlage einer kritischen Analyse dieser empirischen Arbeiten wird eine noch offene Forschungsaufgabe herausgearbeitet, daß nämlich über die Unterbrechungsfunktion bisher nur wenig bekannt ist, ja daß wirklich zwingende experimentelle Belege für die Existenz der Unterbrechungsfunktion noch ausstehen. Diese Forschungsaufgabe zu bearbeiten stellt das Ziel der vorliegenden Arbeit dar.

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit besteht also darin, die Unterbrechungsfunktion eingehender zu untersuchen. Hierbei wird auf die grundlegende Unterscheidung von automatisch vs. willentlich kontrollierten mentalen Prozesse zurückgegriffen, wie sie aus der kognitiven Psychologie bekannt ist. Das Konzept der Automatizität wird im zweiten Kapitel dargestellt, das in drei Abschnitte unterteilt ist. Zunächst wird die klassische Sichtweise der Automatizität dargestellt, und es werden die drei primären Kriterien der Bewußtheit, der Interferenz und der Intentionalität für eine Unterscheidung zwischen willkürlichen und automatischen Prozessen erläutert. Anschließend wird die

Anwendung dieser drei Kriterien am Beispiel der Orientierung der Aufmerksamkeit dargestellt. Den letzten Abschnitt dieses zweiten Kapitels bildet die Darstellung und Diskussion einiger Kritikpunkte an der klassischen Sichtweise von Automatizität.

Das dritte Kapitel widmet sich der theoretischen Analyse von Überraschung mit den durch das Konzept der Automatizität bereitgestellten Begriffen. Entsprechend dem Thema der Arbeit liegt der hauptsächliche Fokus dieser Analyse auf der Unterbrechungsfunktion der Überraschung, deren mögliche Automatizität im ersten Abschnitt diskutiert wird. Im zweiten Abschnitt folgen einige Überlegungen zu anderen im Zusammenhang mit Überraschung auftretenden Prozesse. Den Abschluß des theoretischen Teils der Arbeit bildet die Darstellung und Erläuterung der experimentellen Vorgehensweise, mit der die Unterbrechungsfunktion in den nachfolgend dargestellten Experimenten untersucht worden ist. Diese Vorgehensweise, die eigens für die Untersuchung der Unterbrechungsfunktion entwickelt wurde und in den beschriebenen Experimenten erstmalig zum Einsatz kommt, unterscheidet sich von dem bisher von Meyer und Mitarbeitern verwendeten Paradigmas vor allem darin, daß als Teil der experimentellen Aufgabe nicht ein einzelner Tastendruck, sondern vielmehr eine kontinuierliche Folge von Tastendrücken ausgeführt wird. Es ist die Unterbrechung dieser kontinuierlichen Aufgabe, ausgelöst durch experimentell induzierte Überraschung, die in der vorliegenden Arbeit als Modell für die Unterbrechungsfunktion untersucht werden soll.

Den empirischen Teil der Arbeit bilden fünf Experimente, die sich grob zwei Blöcken zuordnen lassen. Der erste Block beschäftigt sich zunächst mit einem experimentellen Beleg der Existenz der Unterbrechungsfunktion. Dieser Block besteht aus drei Experimenten. In allen drei Experimenten hatten die Versuchspersonen auf entsprechende Signale ein schnelles Tapping zu beginnen (nach einem Startsignal), fortzuführen (nach einem Webersignal) oder zu beenden (nach einem Stoppsignal).

Experiment 1 untersucht die Wirkung eines überraschenden Ereignisses auf die Schnelligkeit der Beantwortung eines Signals, wobei als überraschender Reiz entweder ein Startsignal oder ein Stoppsignal verändert dargestellt wurde. Aufgrund der Annahme einer Unterbrechungsfunktion wurde für Startsignale (analog zu den Experimenten von Meyer und Mitarbeitern) eine Verzögerung der Antwort erwartet, während für Stoppsignale eine unverzügliche Antwort erwartet wurde.

Experiment 2 ist eine Erweiterung von *Experiment 1*. Bei einer ansonsten analogen Vorgehensweise wurde der überraschende Reiz in *Experiment 2* *zusätzlich* zum unveränderten Signal dargeboten und es wurde im Durchgang mit dem überraschenden Reiz (dem kritischen Durchgang) neben einem Start- und einem Stoppsignal ein Weisersignal dargeboten. Für die Gruppen mit Start- bzw. Stoppsignalen im kritischen Durchgang wurden analoge Ergebnisse wie in *Experiment 1* erwartet. Für die Gruppe mit Weisersignalen wurde aufgrund der Annahme einer Unterbrechungsfunktion erwartet, daß das Tapping kurze Zeit nach der Darbietung des überraschenden Reizes zunächst abgebrochen und nach einem kurzzeitigen Aussetzen wieder aufgenommen würde.

Experiment 3 beinhaltete erstmalig eine Bedingung, in der während des Tappings ausschließlich ein überraschender Reiz gezeigt wurde und nicht gleichzeitig auch ein Signal erschien. Genauer gesagt erschien der überraschende Reiz 0.5 Sekunden vor einem Stoppsignal. Diese Bedingung sollte die Ergebnisse aus den Experimenten 1 und 2 erweitern und ihre Generalisierbarkeit prüfen. Der erste Block von Experimenten wird durch eine gemeinsame Diskussion der drei Experimente abgeschlossen.

Die Experimente des zweiten Blocks überprüfen ein Merkmal von Automatizität für die Unterbrechungsfunktion. Genauer gesagt wird überprüft, ob die Unterbrechungsfunktion das Interferenzkriterium der Automatizität erfüllt oder nicht. Das Interferenzkriterium besagt, daß ein willentlicher Prozeß unter Interferenz leidet, wenn gleichzeitig eine weitere Aufgabe ausgeführt wird. Ein automatischer Prozeß läuft dagegen unbeeinflusst von einer weiteren Aufgabe ab. In zwei Experimenten wird entsprechend untersucht, ob eine Zusatzaufgabe zwar eine willentlich kontrollierte Unterbrechung – und zwar die Antwort auf ein nicht überraschendes Stoppsignal – verzögert, im Gegensatz dazu jedoch keinen Einfluß auf die Latenz einer Unterbrechung hat, die durch ein überraschendes Ereignis hervorgerufen wird.

Diese Hypothese über die Interferenzanfälligkeit der willentlichen Unterbrechung sowie die Interferenzlosigkeit der Unterbrechungsfunktion wird im Rahmen eines Doppel-Stimulations-Paradigmas untersucht. Hierbei wird – um Interferenz hervorzurufen – kurz vor dem nicht überraschenden Stoppsignal bzw. dem überraschenden Reiz auditiv ein Zahlwort dargeboten, auf das eine verbale Aufgabe auszuführen war. Starke Interferenz wird dabei durch ein kurzes SOA (dem zeitlichen Intervall zwischen dem Beginn zweier Reize) zwischen Ziffer und Stoppsignal bzw. überraschendem Reiz her-

vorgerufen, schwache Interferenz dagegen durch ein langes SOA zwischen Ziffer und Stoppsignal.

In *Experiment 4* wird das SOA zwischen Ziffer und Stoppsignal bzw. zwischen Ziffer und überraschendem Reiz variiert. Es wurde erwartet, daß die Latenz einer willentlichen Unterbrechung als Antwort auf das Stoppsignal durch das SOA beeinflusst wird, nicht jedoch die Latenz der durch den überraschenden Reiz ausgelösten automatischen Unterbrechung.

Experiment 5 war eine methodisch verbesserte Replikation von Experiment 4. Die Verbesserung bestand darin, daß die Art des unterbrechenden Reizes (Stoppsignal vs. überraschender Reiz) nun als Gruppenfaktor realisiert wurde und nicht – wie in Experiment 4 – als Meßwiederholungsfaktor.

Den Abschluß der Arbeit bildet eine abschließende Diskussion. Es wird diskutiert, ob und in welchem Ausmaß die gesteckten Ziele eines Belegs der Unterbrechungsfunktion sowie ihrer eingehenden Untersuchung erreicht wurden, und es wird auf weiterhin offene Fragen hingewiesen, die zukünftige Experimente klären müssen. Am Ende der Arbeit wird in einem kurzen Ausblick ein mögliches Forschungsprogramm zur Untersuchung von kognitiven Mechanismen der Emotionsgenese skizziert, das auf den Ergebnissen und Methoden der vorliegenden Arbeit aufbaut.

Die Emotion Überraschung und ihre Unterbrechungsfunktion

Überraschung

Überraschung kann als Reaktionssyndrom aus Veränderungen des subjektiven Erlebens, des Verhaltens sowie der Physiologie beschrieben werden. Im subjektiven Erleben tritt ein charakteristisches Überraschungsgefühl auf, das eine hedonisch eher neutrale Qualität aufweist und von relativ kurzer zeitlicher Dauer ist (Shand, 1914). Die Veränderungen des Verhaltens umfassen vor allem einen bestimmten nonverbalen – insbesondere mimischen – Ausdruck (Darwin, 1872; Ekman & Friesen, 1975), weiterhin Veränderungen der Körperhaltung und eine Orientierung der Sinnesorgane auf den überraschenden Reiz, sowie eine Unterbrechung der gerade ausgeführten Handlung (z.B. Darwin, 1872; Desai, 1939; Scherer, 1993; Shand, 1914; Roseman, 1998). Als physiologische Merkmale der Überraschung gelten eine kurzzeitige Erhöhung der elek-

trischen Leitfähigkeit der Haut sowie eine kurzzeitige Abnahme der Herzrate (Niepel, 2001).

Nach der Auffassung vieler einschlägiger Autoren kann Überraschung zu den Emotionen gerechnet werden (z.B. Meyer, 1988; Meyer, Schützwohl & Reisenzein, 1997; Roseman, 1998; Scherer, 1993; siehe aber auch Lazarus, 1991; Panksepp, 1992). Das wesentliche Argument für diese Auffassung ist, daß Überraschung mit prototypischen Emotionen wie Furcht oder Ärger eine Reihe zentraler Merkmale teilt: (1) eine charakteristische Erlebensqualität, die in ihrer Intensität variieren kann; (2) ihre Objektgerichtetheit, was bedeutet, daß man *über etwas* überrascht ist; (3) ihre Verursachung durch kognitive Prozesse; (4) das Vorhandensein eines charakteristischen mimischen Ausdrucks; (5) ein wahrscheinlich früher phylogenetischer Ursprung; und (6) eine plausible biologische Funktion (dieser Punkt wird in Kürze näher ausgeführt) (Reisenzein, Meyer & Schützwohl, 1997). Eine Ablehnung der Zuordnung von Überraschung zu den Emotionen beruht vor allem auf dem Sachverhalt, daß Überraschung, im Gegensatz zu den übrigen Emotionen, nicht valenziert ist (d.h. Überraschung ist hedonisch neutral), und daher – wie es Shand (1914) in der seiner Zeit eigentümlichen Weise ausdrückte – keine Ideen akzeptieren oder zurückweisen kann, d.h. also keine wertende Stellungnahme zum emotionsauslösenden Sachverhalt darstellt.

Es mag zunächst der Eindruck bestehen, daß es eine rein „akademische“ Frage ohne jede weitergehende Bedeutung sei, ob Überraschung zu den Emotionen zu zählen ist oder nicht. Tatsächlich ist es für die isolierte Untersuchung von Überraschung völlig unerheblich, ob es sich bei diesem Phänomen um eine Emotion handelt oder nicht. Diese Einschätzung ändert sich jedoch, wenn man, wie es Reisenzein et al. (1997) vorschlagen, Überraschung stellvertretend für alle, oder zumindest doch eine definierte Untermenge der Emotionen untersuchen will. Mit anderen Worten, die Frage ob Überraschung eine Emotion ist oder nicht, ist genau dann höchst bedeutsam, wenn Ergebnisse, die bei der Untersuchung von Überraschung gewonnen wurden, auf andere Emotionen wie etwa Freude oder Ärger übertragen werden sollen.

Reisenzein et al. (1997) argumentieren, daß Erfolge bei der Beantwortung zentraler Fragen der Emotionsforschung bei einer Untersuchung von Überraschung eher erzielt werden können als dies in bezug auf andere Emotionen der Fall gewesen ist. Sie begründen diese Behauptung damit, daß Überraschung – anders als die meisten übrigen

Emotionen – bei (a) einem Minimum an ethischen Bedenken, (b) verhältnismäßig leicht und mit hoher experimenteller Kontrolle über Beginn und Intensität im Labor hervorgerufen werden kann, wobei (c) neben dem subjektiven Erleben (erfaßt über den retrospektiven Selbstbericht) auch objektive Indikatoren von Überraschung erhoben werden können (z.B. Reaktionszeiten als Indikator für eine kognitive Verarbeitung des überraschenden Reizes, wie dies fast ausnahmslos in den Untersuchungen von Meyer und Mitarbeitern geschieht, physiologische Indikatoren wie die elektrodermale Reaktion oder die Herzrate (z.B. Niepel, 2001), oder der mimische Ausdruck (Reisenzein, 2000).

Ein zentrales Thema dieser Arbeit ist die Automatizität eines bestimmten "Symptoms" des Reaktionssyndroms Überraschung, nämlich der Unterbrechung von Handlungen. Soweit Schlußfolgerungen von Überraschung auf andere Emotionen zulässig sind, besteht die Möglichkeit, daß die vorliegende Arbeit tatsächlich einen Beitrag zur Klärung zentraler Fragen leisten kann. Emotionen werden im allgemeinen als unwillkürlich und häufig sogar unwillkommen angesehen (Ekman, 1999). Die Untersuchung von Überraschung als Beispiel für eine Emotion sollte daher einen Beitrag zur Beantwortung der Frage liefern können, ob – und in welchem Sinne – Komponenten von Emotionen automatisch sein können.

Im weiteren Verlauf dieses ersten Kapitels wird zunächst ein kognitiv-evolutionäres Modell der Überraschung dargestellt, das seit seinem ersten publizierten Entwurf (Meyer, 1988) fortwährend ausgearbeitet und einer empirischen Überprüfung unterzogen wurde, und das einen wesentlichen theoretischen Hintergrund dieser Arbeit bildet. Anschließend wird mit der Unterbrechungsfunktion die eine Komponente der Überraschung detaillierter vorgestellt, die in der vorliegenden Arbeit untersucht werden soll.

Ein kognitiv-evolutionäres Modell der Überraschung

Das kognitiv-evolutionäre Modell der Überraschung von Meyer und Mitarbeitern (Meyer, 1988; Meyer, Reisenzein & Schützwohl, 1995, 1997; siehe auch Schützwohl & Horstmann, 1999) behandelt die im Zusammenhang mit Überraschung ablaufenden mentalen Prozesse, und zwar insbesondere solche kognitiven Prozesse, (a) durch die Überraschung hervorgerufen wird, (b) die den eigentlichen Überraschungsmechanismus bilden, und (c) die regelmäßig in der Folge von Überraschung auftreten. Hierbei zielt

das Modell insbesondere auf die Beantwortung von drei Fragen ab. Erstens, wodurch wird Überraschung hervorgerufen? Zweitens, wie ist die Überraschungsreaktion organisiert? Drittens, welche biologische Funktion erfüllt Überraschung?

Überraschung wird nach diesem Modell durch unerwartete Ereignisse hervorgerufen, wobei Unerwartetheit genauer als Abweichung von einem aktivierten kognitiven Schema angesehen wird. Nach der schematheoretischen Sichtweise (z.B. Cooper & Shallice, 1997; Mandler, 1985; Norman & Shallice, 1986; Rumelhart, 1984; Rumelhart & Ortony, 1977) werden Wahrnehmen, Denken und Handeln in hohem Maße durch organisierte Wissensstrukturen, nämlich Schemata, kontrolliert. Ein sehr wichtiges Anliegen von Schematheorien besteht in der Erklärung der Leichtigkeit und Unmittelbarkeit, mit der Menschen alltägliche Sachverhalte verstehen. Schemata lassen sich dabei als eine Art informelle Theorien über Objekte, Ereignisse und Ereignisabfolgen (einschließlich Handlungen und Handlungsabfolgen) auffassen (Rumelhart, 1984). Sie dienen der *Interpretation* gegenwärtiger Ereignisse (einschließlich Erinnerungen) sowie der *Vorhersage* zukünftiger Ereignisse und damit letztlich der flexiblen, adaptiven Planung und *Steuerung des Handelns*.

Um die Funktion der Interpretation und Vorhersage zum Zwecke der Handlungssteuerung erfolgreich ausfüllen zu können, müssen Schemata mit den tatsächlichen Gegebenheiten hinreichend gut übereinstimmen. Da das Wissen über die Umwelt jedoch häufig unvollständig ist und sich die Umwelt darüber hinaus verändern kann, werden aktivierte Schemata ständig hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den tatsächlichen Gegebenheiten überprüft (Rumelhart, 1984). Diese *Schemataüberprüfung* wird durch einen kontinuierlich ablaufenden Prozeß gewährleistet, der automatisch – mühe-los, unbewußt und keine bewußte Intention der Person voraussetzend – die Übereinstimmung der aktuellen Information mit den im Schema spezifizierten Informationen vergleicht. Solange die Gegebenheiten mit den aktivierten Schemata kompatibel sind, können Schemata ihre Interpretations- und Vorhersagefunktion sinnvoll erfüllen. Ergibt sich dagegen eine Diskrepanz zwischen den Gegebenheiten und dem Schema, wird diese Funktion in Frage gestellt und es muß geprüft werden, ob und wie das Schema zu verändern ist.

Eine solche Schemadiskrepanz setzt den Überraschungsmechanismus in Gang (vgl. Abbildung 1). Der Überraschungsmechanismus umfaßt folgende Veränderungen:

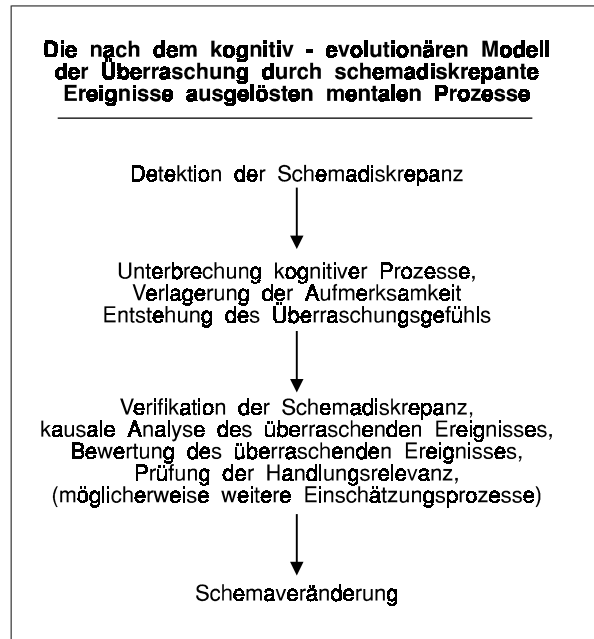


Abbildung 1. Abfolge mentaler Prozesse nach dem kognitiv - evolutionären Modell der Überraschung (vereinfacht nach Meyer, Reisenzein & Schützwohl, 1997).

(a) die momentan ablaufenden Verarbeitungsprozesse werden unterbrochen (b) die Aufmerksamkeit wird auf das Überraschung auslösende Ereignis orientiert, und es entsteht (c) das Überraschungsgefühl. Die beiden kognitiven Veränderungen, nämlich die Unterbrechung der Verarbeitung und die Aufmerksamkeitsorientierung, schaffen die funktionalen Voraussetzungen für einen möglichst raschen und ungestörten Ablauf weiterer kognitiver Prozesse der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses. Dem Überraschungsgefühl wird die Funktion zugeschrieben, einen ersten motivationalen Anstoß für diese Analyse- und Bewertungsprozesse zu geben. Mit anderen Worten, der *eigentliche* Überraschungsmechanismus („surprise mechanism proper“, Meyer, Reisenzein & Schützwohl, 1997, S. 253) – der Unterbrechung, Aufmerksamkeitsorientierung und Überraschungsgefühl umfaßt – stellt eine (Teil-) *Ursache* dieser weiterführenden Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses dar.

Für die Darstellung der weitergehenden Analyse- und Bewertungsprozesse, die durch den eigentlichen Überraschungsmechanismus in Gang gesetzt werden, ist es günstig, zunächst die vermutliche *biologische Funktion* von Überraschung zu erörtern. Wie sich bereits in der Bezeichnung "kognitiv-evolutionär" andeutete, erhebt das Modell der Überraschung nicht nur den Anspruch, Aussagen über die im Zusammenhang mit Überraschung auftretenden kognitiven Prozesse zu machen, sondern darüber hinaus die Be-

dingungen und Wirkungen von Überraschung im Licht evolutionstheoretischer Überlegungen zu analysieren.

Der Begriff der biologischen Funktion entstammt der Evolutionstheorie und bezeichnet diejenige Wirkung eines vererbten Merkmals, das die Überlebens- und Fortpflanzungschancen des Individuums und seiner genetischen Verwandten erhöht und somit die Ausbreitung des Merkmals innerhalb der Art begünstigt (für eine ausführliche Darstellung der Grundbegriffe der Evolutionstheorie siehe z.B. Meyer, Schützwohl & Reisenzein, 1997). Merkmale mit einer biologischen Funktion werden auch als *Adaptationen* bezeichnet, die ein bestimmtes, über viele Generationen wiederkehrend auftretendes, *adaptives Problem* lösen.

Meyer et al. (1997) gehen davon aus, daß Überraschung ein phylogenetisch alter Mechanismus ist, der sich im Laufe der Evolution lange vor der Entstehung der menschlichen Linie herausgebildet hat. Überraschung ist dabei eine Antwort auf das überdauernde adaptive Problem fehlerhafter Schemata. Fehlerhafte Schemata stellen ein adaptives Problem dar, weil sie dazu führen können, daß Individuen auf wichtige Ereignisse und Sachverhalte (ihr Übeleben und das ihrer Nachkommen betreffend) nicht vorbereitet sind. Mit der Adaptation Überraschung sind daher zwei adaptive Ziele verknüpft. Einerseits soll Überraschung eine *unmittelbare adaptive Reaktion* des Individuums auf das unerwartete Ereignis ermöglichen (kurzfristige Anpassung); andererseits soll Überraschung eine *Veränderung des fehlerhaften Schemas* bewirken, wodurch die Voraussetzung für die Vorhersage des Ereignisses und damit für adaptives Handeln wiederhergestellt wird (langfristige Anpassung).

Jeder der nachfolgend dargestellten Analyse- und Bewertungsprozesse stellt einen Mosaikstein für das Erreichen der kurz- bzw. langfristigen Anpassung des Individuums an sein Habitat (seine Lebensumwelt) dar. Bei der *Verifikation der Schemadiskrepanz* wird der überraschende Reiz erneut auf seine Schemadiskrepanz überprüft. Diese Überprüfung soll gewährleisten, daß die nachfolgenden Prozesse – mitsamt ihren möglichen kognitiven und verhaltensmäßigen Konsequenzen – nicht aufgrund eines Ereignisses ausgeführt werden, das in Wirklichkeit schemakonform und nicht schemadiskrepanz ist.

Weiterhin erfolgt eine *Suche nach den Ursachen sowie deren Analyse*. Um das Ereignis zu verstehen, sein Eintreten in Zukunft vorhersagen zu können und – was vom

Standpunkt der Steuerung des Handelns das Wesentliche ist – es möglicherweise kontrollieren oder beeinflussen zu können, ist es wichtig, Kenntnis über die *kausale* Struktur des überraschenden Ereignisses zu haben (Meyer & Försterling, 1993). Das Ergebnis beinhaltet im Idealfall erstens ein Wissen, unter *welchen* Bedingungen das überraschende Ereignis aufgetreten ist, und zweitens, inwiefern die Bedingungen des Ereignisses zeitlich überdauernd (stabil) und von der Person durch Handeln veränderbar (kontrollierbar) sind.

Die *Bewertung hinsichtlich des eigenen Wohlergehens* erfolgt primär mit der Zielsetzung, eine Gefahr möglichst schnell zu entdecken. Normalerweise sind die Bewertungen von Ereignissen Bestandteil der in einem Schema abgespeicherten Informationen. Mit anderen Worten, bei schemakonformen Ereignissen ist die Bewertung des Ereignisses hinsichtlich des eigenen Wohlergehens in der Regel bekannt. Bei schemadiskrepanzen Ereignissen ist dies jedoch nicht der Fall, und die entsprechende Bewertung muß daher neu ermittelt werden.

Weiterhin findet eine *Beurteilung der Handlungsrelevanz* des überraschenden Ereignisses statt. Wie erwähnt, bewirken schemadiskrepante Ereignisse eine zumindest kurzfristige Unterbrechung der momentanen mentalen und motorischen Operationen. Die Funktion der Beurteilung der Handlungsrelevanz des Ereignisses ist es festzustellen, ob die unterbrochene Handlung fortgeführt werden kann bzw. soll oder ob die Handlung verändert oder sogar gänzlich eingestellt werden muß, sei es, weil die Ausführung der Handlung unter den veränderten Bedingungen nicht mehr möglich ist, oder weil die Ausführung einer anderen Handlung dringlicher ist.

Neben den vorauslaufend beschriebenen vier Prozessen können in Abhängigkeit von der Art der Situation auch weitere Einschätzungsprozesse stattfinden, wie zum Beispiel eine moralische Bewertung, wenn das schemadiskrepante Ereignis eine Handlung, ein Handlungsergebnis oder dessen Folge ist.

Schließlich muß selbstverständlich – als wesentlicher Bestandteil einer langfristigen Anpassung des Individuums an das aktuelle Habitat – Lernen stattfinden, das heißt, das kognitive Schema muß verändert werden. Zunächst muß das überraschende Ereignis derart im Schema repräsentiert werden, daß in Zukunft bei dem gleichen oder einem ähnlichen Ereignis keine Überraschung mehr ausgelöst wird. Wie das Schema darüber hinaus genau verändert wird, hängt wesentlich von den Ergebnissen der Analy-

se- und Bewertungsprozesse ab. So sollte das Schema so verändert werden, daß die Ursachen des überraschenden Ereignisses oder wenigstens Anzeichen seines Auftretens in dem Schema repräsentiert werden, um eine Vorhersage des überraschenden Ereignisses zu gewährleisten. Weiterhin sollten die Informationen über angezeigte kognitive oder motorische Antworten auf das betreffende Ereignis abgespeichert werden, die aufgrund der Bewertung der Handlungsrelevanz bekannt sind. Und ebenso sollte die analysierte Bedeutsamkeit des Ereignisses für das eigene Wohlergehen in dem betreffenden Schema abgespeichert werden.

Eine Schemaveränderung wird jedoch nur ausgeführt, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind. Erstens muß die Schemadiskrepanz bestätigt worden sein, denn wenn die Überraschung auf einer Wahrnehmungstäuschung oder einer Fehlinterpretation beruht, wäre eine Schemaveränderung nicht nur überflüssig, sondern sogar schädlich. Wie bereits gesagt, verhindert die Diskrepanzverifikation eine solche schädliche Schemaveränderung, indem die Analyse des überraschenden Ereignisses sofort abgebrochen wird und die unterbrochenen kognitiven oder motorischen Abläufe wieder aufgenommen werden, wenn die Diskrepanz nicht bestätigt werden kann. Zweitens ist eine Schemaveränderung bei einmaligen oder sehr seltenen Ereignissen nicht sinnvoll. Um effektiv ihre Aufgabe in der Interpretation von Wahrnehmungsinhalten und der Steuerung von Handlungsabläufen erfüllen zu können, müssen Schemata von Besonderheiten der Situation abstrahieren. Tatsächlich ist diese Abstraktion Bestandteil der Definition eines kognitiven Schemas: Schemata repräsentieren Regelmäßigkeiten einer Anzahl von Situationen, nicht jedoch einzelne Episoden. Wenn aufgrund der kausalen Analyse bekannt ist, daß das überraschende Ereignis aufgrund der einzigartigen oder extrem unwahrscheinlichen Konstellation von Faktoren zustande kam, sollte das Schema daher nicht verändert werden. Eine Veränderung des Schemas sollte nämlich nur erfolgen, wenn mit einem Wiederauftreten des betreffenden Ereignisses vernünftigerweise gerechnet werden kann.

Zusammengefaßt nehmen Meyer und Mitarbeiter an, daß überraschende Ereignisse eine vierstufige Abfolge von Prozessen in Gang setzen. Auf der ersten Stufe dieser Abfolge wird die Schemadiskrepanz eines Ereignisses festgestellt. Wenn das Ausmaß der Schemadiskrepanz hinreichend hoch ist (technisch ausgedrückt: wenn ein Schwellenwert überschritten wird), werden auf der zweiten Stufe der Abfolge die mo-

mentan ablaufenden Prozesse unterbrochen, die Aufmerksamkeit wird auf das überraschende Ereignis gelenkt, und es tritt ein Gefühl der Überraschung auf. Diese zwei Stufen bilden den eigentlichen Überraschungsmechanismus. Auf der dritten Stufe wird die Schemadiskrepanz verifiziert, das schemadiskrepante Ereignis im Hinblick auf seine Handlungsrelevanz, seine kausale Struktur und seine Bedeutung für das Wohlergehen analysiert und bewertet. Auf der vierten und letzten Stufe schließlich wird das Schema so verändert, daß es dem durch die Analyseprozesse aktualisierten Kenntnisstand Rechnung trägt.

Empirische Untersuchungen zum kognitiv-evolutionären Modell der Überraschung

In diesem Abschnitt soll anhand des "klassischen" Experimentes von Meyer et al. (1991) beispielhaft verdeutlicht werden, mit welchem experimentellen Vorgehen Meyer und Mitarbeiter das von ihnen entwickelte Modell empirisch untersuchen. Es wird allerdings aus zwei Gründen keine ausführliche Darstellung der empirischen Beweislage zur allgemeinen Gültigkeit des Modells erfolgen. Zum einen werfen die meisten der Untersuchungen wenig Licht auf die vorliegende Fragestellung nach der Unterbrechungsfunktion, und eine ausführliche Darstellung würde daher vom Gegenstand der vorliegenden Untersuchung wegführen. Zum anderen kann eine ausführliche und aktuelle Begutachtung der Befundlage zum kognitiv-evolutionären Modell der Überraschung anderweitig nachgelesen werden (Niepel, 2000).

Die überwiegende Mehrzahl der von Meyer und Mitarbeitern zur Überraschung durchgeführten Experimente verwendeten eine Versuchsanordnung, die im folgenden – in Abgrenzung zu dem für die Untersuchung der Unterbrechungsfunktion verwendeten *Kontinuierlichen Paradigma* – als *Diskretes Paradigma* bezeichnet wird. Der Name "Diskretes Paradigma" resultiert daraus, daß die Versuchspersonen in jedem Durchgang eine diskrete motorische Aufgabe auszuführen hatten, die in einem Tastendruck bestand.

In der Untersuchung von Meyer et al. (1991) bearbeiteten die Versuchspersonen eine Wahlreaktionsaufgabe. In jedem Versuchsdurchgang wurde ein Warnsignal (ein Fixationskreuz), ein aufgabenirrelevanter Zusatzreiz (zwei untereinander angeordnete deutsche Nomen) sowie der aufgabenrelevante Zielreiz (ein Punkt, der etwas über oder unter dem aufgabenirrelevanten Zusatzreiz erschien) dargeboten. Das Zeitintervall zwi-

schen dem Beginn des Warnsignals und dem Beginn des irrelevanten Zusatzreizes (das SOA [Stimulus Onset Asynchrony]) war fest und betrug stets 1.4 s (Sekunden). In verschiedenen Experimenten betrug das SOA zwischen dem aufgabenirrelevanten Zusatzreiz und dem aufgabenrelevanten Zielreiz 0, 0.5, 1 oder 2 s. Die auf die Darbietung des Zielreizes auszuführende motorische Antwort bestand aus einem einzelnen diskreten Tastenanschlag. In den Durchgängen 1-29 der Experimentalbedingungen wurden die Reize in einer stets gleichbleibenden Weise dargeboten. Mit anderen Worten, es gab keinerlei Variation in der Weise ihrer Darbietung – insbesondere wurden alle Reize im normalen Videomodus (NV) dargestellt, d.h. alle Reize wurden durch dunkle Bildschirmpunkte auf einem hellen Bildschirmhintergrund gebildet. Im überraschenden 30. Durchgang jedoch wurde der handlungsirrelevante Zusatzreiz ohne eine vorausgegangene Ankündigung verändert dargestellt. Die Veränderung bestand darin, daß eines der zwei Nomen nun im invertierten Videomodus (IV), d.h. durch weiße Bildpunkte auf einem dunklen Bildschirmausschnitt, dargestellt wurde. In den Kontrollbedingungen wurden sowohl in den Durchgängen 1-29 wie auch im 30. Durchgang eines der zwei Nomen im IV dargestellt.

Es wurde angenommen, daß (a) aufgrund der gleichförmigen Darstellung der Reize in den Durchgängen 1-29 ein kognitives Schema ausgebildet wird, das die über diese Durchgänge invariante Reizdarbietung repräsentiert, und daß (b) die unangekündigte Reizänderung in der Experimentalgruppe daher ein schemadiskrepantes bzw. überraschendes Ereignis darstellen würde.

Drei wesentliche abhängige Variablen wurden erhoben. Erstens wurden unmittelbar nach dem überraschenden Durchgang *Selbsteinschätzungen* der erlebten Überraschung als Indikator für die subjektive Komponente der Überraschungsreaktion erfragt. Hierbei wurde angenommen, daß die auf einer 7-stufigen Ratingskala vorgenommenen Selbsteinschätzungen in der Experimentalgruppe höher sein würden als in der Kontrollgruppe. Zweitens wurde die *Erinnerungsleistung* für das invertiert dargebotene Wort im überraschenden Durchgang als Indikator für die Orientierung der Aufmerksamkeit erhoben. Es wurde angenommen, daß in der Experimentalgruppe als Teil der Überraschungsreaktion eine Orientierung der Aufmerksamkeit auf das invertiert dargebotene Wort erfolgen würde, das in dieser Gruppe daher besser erinnert wird als in der Kontrollgruppe, in der dem Wort keine Aufmerksamkeit zuteil wird. Drittens wurde die *Re-*

aktionszeit für die Antwort auf den aufgabenrelevanten Zielreiz als Index für die durch den überraschenden Reiz in Gang gesetzten kognitiven Prozesse der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses erhoben. Die Autoren nahmen an, daß eventuell gerade ablaufende Prozesse sofort unterbrochen werden und an ihrer Stelle eine Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses erfolgt. Erst nachdem diese Analyse und Bewertung abgeschlossen ist, wird die Aufmerksamkeit wieder auf die Reaktionszeitaufgabe gerichtet. Nun werden die Reaktionszeitprozesse wieder aufgenommen und – sobald sie zu ihrem Abschluß gelangt sind – letztlich die Reaktion ausgeführt. Für die Reaktionszeiten wurde daher eine *Verlängerung* im 30. Durchgang relativ zu den Durchgängen 1-29 in den Experimentalbedingungen vorhergesagt, jedoch ein Ausbleiben einer solchen Verlängerung in den Kontrollbedingungen. Meyer et al. (1991) wiesen für alle drei experimentellen Variablen Unterschiede zwischen den Experimental- und den Kontrollgruppen nach, und konnten somit drei wesentliche Kennzeichen menschlicher Reaktionen auf überraschende Ereignisse nachweisen.

Nachfolgende Untersuchungen, die das Diskrete Paradigma oder eine Abwandlung davon verwendeten, konnten eine Reihe der auf Grundlage des kognitiv-evolutionären Modells gemachten Vorhersagen bestätigen. So konnte etwa gezeigt werden, daß die Dauer der durch das überraschende Ereignis ausgelösten kognitiven Prozesse (indiziert über die Reaktionszeitverlängerung) sowie tendenziell das Ausmaß des Überraschungserlebens (indiziert über den Selbstbericht) von Merkmalen des Schemas beeinflußt wird (Horstmann & Schützwohl, 1998; Schützwohl, 1998); daß die Dauer der durch das überraschende Ereignis ausgelösten kognitiven Prozesse von der Verfügbarkeit einer kausalen Erklärung für das überraschende Ereignis beeinflußt wird (Schützwohl & Reisenzein, 1999); daß Reize, deren Unwichtigkeit für die gegenwärtig geplante Handlung den Versuchspersonen bekannt ist, eine kürzere Analyse erfahren als handlungsrelevante Reize (Meyer et al. 1997). Insgesamt zeigten die bisherigen Befunde eine gute Übereinstimmung mit den Vorhersagen des Überraschungsmodells.

Die Unterbrechungsfunktion der Überraschung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Unterbrechungsfunktion der Überraschung, und damit mit einem der drei mentalen Ereignisse, die den eigentlichen Überraschungsmechanismus bilden. Mit dem Begriff der Unterbrechungsfunktion bezeichne

ich das Merkmal von Überraschung, kognitive Prozesse und motorische Aktivitäten zu unterbrechen.

Wie Desai (1939) in seiner historischen Untersuchung von Überraschung darlegt, finden sich Berichte über eine unterbrechende Wirkung von Überraschung auf *motorische* Abläufe bereits in der vor-wissenschaftlichen psychologischen Literatur der Antike und der Aufklärung (etwa bei Aristoteles und Descartes) sowie in klassischen Texten der Emotionspsychologie (z.B. Darwin, 1872; Shand, 1914). Zur Illustration für diese auf informellen Beobachtungen beruhenden Erwähnungen der unterbrechenden Wirkung von Überraschung sei ein Bericht angeführt, den Charles Darwin von Mr. Stuart, einem australischen Forscher, erhielt und veröffentlichte. Mr. Stuart beschreibt darin die Reaktion eines „Wilden“, der offenbar nie zuvor einen Menschen auf dem Rücken eines Pferdes hat sitzen sehen: „Er drehte sich herum und sah mich. Was er dachte was ich war, weiß ich nicht; aber ich habe nie zuvor ein klareres Bild von Angst und Erstaunen gesehen. Er stand da, unfähig ein Körperteil zu bewegen, festgenietet auf dem Boden, mit offenem Mund und starrenden Augen....Er blieb bewegungslos bis unser Schwarzer sich ihm auf wenige Yards genähert hatte, als er plötzlich sein Bündel fortwarf und in einen Mulga-Busch sprang“ (Darwin, 1872, S. 280)¹.

Shand (1914) war vermutlich der erste Autor, der explizit annahm, daß neben motorischen Prozessen auch *kognitive* Prozesse unterbrochen werden. Er schreibt: „Überraschung tendiert dazu, das Bewußtsein von dem zu befreien, was es vorher besetzte. Überraschung ist daher eine häufige Ursache der Vergeßlichkeit. Wir müssen unsere Aufmerksamkeit und unser Denken auf das überraschende Ereignis richten; und das bringt sie von dem weg, was uns vorher beschäftigte“ (S. 431). Weiterhin deutet Shand bereits eine mögliche Verknüpfung zwischen der Unterbrechung kognitiver und motorischer Prozesse an: „Ohne zu wissen was zu tun ist, kann das Bewußtsein den Gliedern keine Richtung geben...und die Handlung wird solange unterbrochen, bis wir uns von der Überraschung erholt haben“ (S. 426). Shand war also offenbar der Meinung, daß es die Unterbrechung willentlicher Prozesse der Bewegungssteuerung ist, die ursächlich für die sichtbare Unterbrechung motorischer Abläufe verantwortlich ist.

¹ Man kann sich allerdings fragen, ob hier tatsächlich die Handlungsunterbrechung der Überraschung beschrieben wird oder nicht eher ein Erstarren (freezing) als Bestandteil einer Furchtreaktion. Wie dem auch sei, Darwin jedenfalls stellt dieses Verhalten als Ausdruck von Überraschung dar.

Neuere Autoren betonen vor allem die Unterbrechung kognitiver Prozesse (Izard, 1977; Meyer, 1988; Tomkins 1962). Tomkins (1962) und in seiner Folge Izard (1977) sehen Überraschung als allgemeinen Mechanismus zur Unterbrechung kognitiver Aktivität an. Diese beiden Autoren nehmen an, daß die besondere Funktion des Überraschungsmechanismus darin besteht, daß unerwartete – und möglicherweise relevante – Umweltinformation bewußt beachtet werden kann und hierdurch für eine weitere Verarbeitung verfügbar gemacht wird.

Wie bereits ausgeführt, sehen Meyer und Mitarbeiter die Unterbrechungsfunktion als eine notwendige Vorbedingung für eine schnelle und störungsfrei ablaufende Analyse des überraschenden Ereignisses an: Ablaufende kognitive Prozesse werden durch den Überraschungsmechanismus unterbrochen, *damit* die Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses mit größtmöglicher Effektivität erfolgen kann. Offensichtlich bietet sich hier eine *gemeinsame* Erklärung für die Unterbrechung kognitiver wie auch motorischer Abläufe an – beides kann auf einer Unterbrechung kognitiver Prozesse beruhen. Nach dieser gemeinsamen Erklärung erfolgt eine Unterbrechung motorischer Abläufe nämlich dann, wenn die unterbrochenen kognitiven Prozesse mit der Kontrolle von Bewegungen befaßt sind. Entsprechend nehmen Meyer et al. (2000) auch an, daß die Unterbrechung der motorischen Aktivitäten ein selbst funktionsloser Nebeneffekt der Unterbrechung der sie kontrollierenden Prozesse ist. Wenn diese Erklärung auch insbesondere aufgrund ihrer Sparsamkeit attraktiv erscheint, sollte nicht aus den Augen verloren werden, daß zudem denkbar ist, daß (a) der motorischen Unterbrechung eine eigenständige Funktion zukommt, und auch daß (b) die motorische Unterbrechung eine aktive Leistung des Überraschungsmechanismus ist. Eine eigenständige Funktion der motorischen Unterbrechung ist nicht unplausibel, wenn Überraschung aus evolutionstheoretischer Perspektive betrachtet wird. So könnte man beispielsweise argumentieren, daß man sich Objekten, deren Erscheinen, Verschwinden oder Veränderung das überraschende Ereignis darstellt, üblicherweise annähert, denn man bewegt sich normalerweise vorwärts und die Sinnesorgane sind für eine Wahrnehmung nach vorne optimiert. Überraschende Ereignisse sind *per definitionem* Ereignisse, deren Bedeutung zunächst unbekannt ist und daher stets auch eine potentielle Gefahr. Es erscheint nun aber adaptiv zu sein, sich potentiellen Gefahren nicht weiter anzunähern, sondern eine Annäherungsbewegung zunächst zu unterbrechen. Eine eingehende Analy-

se kann dann hervorbringen, daß tatsächlich eine Gefahr besteht, und weiteres Verharren in Unbeweglichkeit oder ein Rückzug angezeigt ist, oder aber daß die Situation tatsächlich ungefährlich ist, und eine weitere Annäherung möglich ist. Eine solche speziell motorische Unterbrechungsfunktion könnte dabei wie oben beschrieben durch eine Unterbrechung der Kontrollprozesse realisiert sein. Alternativ hierzu ist es auch denkbar, daß die Motorik *aktiv* gehemmt wird, etwa durch eine gleichzeitige Aktivierung der agonistischen und antagonistischen Muskeln des Bewegungsapparates.

Zusammengefaßt vertreten eine Anzahl von Autoren die Annahme, daß Überraschung eine Unterbrechung kognitiver wie auch motorischer Abläufe bewirkt, wobei die Unterbrechung motorischer Abläufe möglicherweise ein selbst funktionsloser Nebeneffekt einer Unterbrechung der sie kontrollierenden Prozesse ist.

Empirische Arbeiten zur Unterbrechungsfunktion der Überraschung.

Von den insgesamt im Diskreten Paradigma von Meyer und Mitarbeitern durchgeführten empirischen Arbeiten sind für eine Untersuchung der Unterbrechungsfunktion nur sehr wenige Untersuchungen relevant. In den allermeisten durchgeführten Untersuchungen wurde nämlich das überraschende Ereignis in der *Vorperiode* der Reaktionsaufgabe realisiert, also zwischen dem Warnsignal und dem Zielreiz (so in Horstmann & Schützwohl, 1998; Meyer et al., 1991, Experimente 1-3; Meyer et al., 1997; Niepel et al., 1994, Experiment 1; Schützwohl, 1998; Schützwohl & Reisenzein, 1999). In der Vorperiode hatten die Versuchspersonen jedoch keinerlei Handlung auszuführen – die *einzige* durch die Instruktion geforderte Handlung in den Experimenten war *auf den Zielreiz* auszuführen, der erst nach dem überraschenden Reiz erschien. Um von der *Unterbrechung* einer Handlung im eigentlichen Sinne sprechen zu können, muß diese Handlung jedoch zu dem Zeitpunkt in der Ausführung begriffen sein – d.h. sie muß bereits begonnen haben und darf noch nicht beendet sein – wenn das überraschende Ereignis eintritt, und die Ausführung der Handlung muß zumindest kurzzeitig ausgesetzt werden. Die Ausführung der Handlung und das Eintreten des überraschenden Ereignisses muß also zeitgleich erfolgen. Diese notwendige Bedingung für eine Demonstration einer Unterbrechung ist jedoch nicht erfüllt, wenn das überraschende Ereignis in der Vorperiode eintritt.

Für eine klare und eindeutige Demonstration der Unterbrechungsfunktion der Überraschung ist also sicherzustellen, daß die zu unterbrechende Handlung bei Eintritt des überraschenden Ereignisses tatsächlich ausgeführt wird. Dies wird am besten erreicht, wenn das durch die Instruktion definiertes Signal für die Ausführung der Handlung dem überraschenden Ereignis *zeitlich vorausgeht*. Solche Versuchsbedingungen wurden jedoch bisher nicht realisiert. Die größte Annäherung an solche Versuchsbedingungen wurde in zwei Experimenten erzielt, in denen das Signal für die Ausführung der Handlung *zeitgleich* mit dem überraschenden Ereignis gezeigt wurde. Wenn – wie im folgenden ausgeführt wird – einige Annahmen getroffen werden, um bei zeitgleicher Darbietung von Zielreiz (ZR) und überraschendem Reiz (ÜR) auf die Unterbrechung einer Handlung zu schließen, lassen die Ergebnisse einige Rückschlüsse auf Merkmale der Unterbrechungsfunktion zu.

Die Situation bei zeitgleicher Präsentation von ZR und ÜR läßt sich mit einem *Wettlauf-Modell* konzeptualisieren (Niepel et al., 1994; siehe auch Logan & Cowan, 1984; Logan, Cowan & Davis, 1984). Hiernach starten ZR und ÜR zwei zunächst parallel ablaufende Gruppen von Prozessen, nämlich Reaktionszeitprozesse und Überraschungsprozesse. Die Reaktionszeitprozesse führen letztlich zur durch die Instruktion geforderten Antwort. Sie umfassen vor allem Prozesse der Informationsaufnahme, weiterhin zentrale Prozesse, insbesondere der Entscheidung über die auszuführende Antwort, sowie die motorische Ausführung der Antwort.

Die Überraschungsprozesse führen letztlich zu einer Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses. Nach dem kognitiv-evolutionären Modell von Meyer et al. (1995, 1997) umfassen die Überraschungsprozesse insbesondere eine Unterbrechung gegebenenfalls zeitgleich ablaufender kognitiver Prozesse und eine Orientierung der Aufmerksamkeit auf das überraschende Ereignis, sowie die informationsverarbeitenden Prozesse der Analyse und Bewertung, die im Anschluß an die Unterbrechung anstelle der unterbrochenen Reaktionszeitprozesse ausgeführt werden. Abbildung 2 faßt die wesentlichen Punkte des vorauslaufend Gesagten zusammen, wobei die schwarz ausgefüllten Kästchen diejenigen Prozesse repräsentieren, die beschränkt verfügbare (zentrale) Verarbeitungsressourcen benötigen und daher grundsätzlich *in Konkurrenz* zueinander um diese Verarbeitungsressourcen stehen. Man beachte, daß nach dem kognitiv-evolutionären Modell der Überraschung der Ablauf des Überraschungsmechanismus

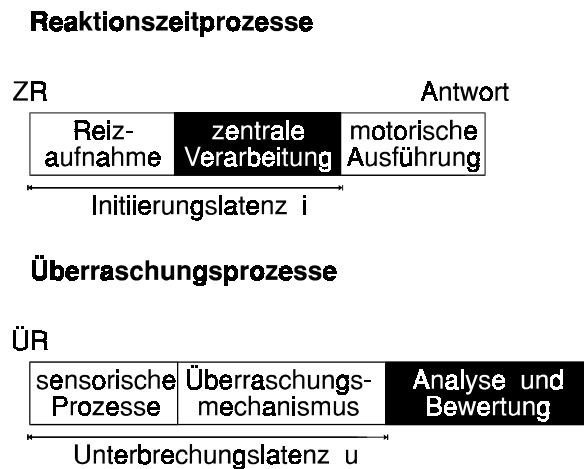


Abbildung 2. Grafische Veranschaulichung des Wettlaufmodells der Geschehnisse im kritischen Durchgang eines Überraschungsexperiments

selbst keine zentralen Ressourcen benötigt; erst die Prozesse der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses benötigen zentrale Ressourcen und können daher in Konkurrenz zur zentralen Verarbeitung des Zielreizes stehen (vgl. Abbildung 2).

Die kritischen Variablen im Wettlauf-Modell sind zwei Latenzen: erstens die Initiierungslatenz i und zweitens die Unterbrechungslatenz u . Die Initiierungslatenz i ist das Zeitintervall zwischen dem ZR und dem Zeitpunkt, zu dem alle notwendigen Verarbeitungsprozesse zur Bestimmung der Antwort abgeschlossen sind und die bereits programmierten motorischen Anweisungen abgearbeitet werden (vgl. den oberen Teil von Abbildung 2). Die Unterbrechungslatenz u ist das Zeitintervall zwischen dem ÜR und dem Zeitpunkt, zu dem die Unterbrechungsfunktion wirksam wird (vgl. den unteren Teil von Abbildung 2). Wenn die Initiierungslatenz größer ist als die Unterbrechungslatenz ($i > u$), dann werden nach diesem Modell die Reaktionszeitprozesse unterbrochen und statt ihrer die Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses ausgeführt. Weil die Reaktionszeitprozesse erst nach dieser Analyse und Bewertung fortgeführt und zu einem Abschluß gebracht werden, ist die Reaktionszeit im Vergleich zu einer Bedingung ohne überraschendes Ereignis verlängert. Wenn dagegen die Unterbrechungslatenz größer ist als die Initiierungslatenz ($u > i$), ist die Antwort bereits initiiert wenn die Unterbrechungsfunktion einsetzt, so daß die Reaktionszeit im Vergleich zu einer Bedingung ohne überraschendes Ereignis unverändert ist.

Der ursprüngliche Anstoß für die Formulierung des Wettlauf-Modells bestand darin, ein nicht vorhergesagtes Ergebnis aus der Untersuchung von Meyer et al. (1991) zu erklären, daß nämlich die Reaktionszeitverzögerungen im überraschenden Durchgang bei zeitgleicher Darbietung von ZR und ÜR im Mittel geringer ausfielen als bei einem $SOA=0.5$ s. Nun wird die Dauer der Reaktionszeitverzögerung üblicherweise als Maß für die Elaboriertheit der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses interpretiert. Dies jedoch würde bedeuten, daß die Analyse und Bewertung bei zeitgleicher Darbietung weniger elaboriert ausfällt als bei aufeinanderfolgender Darbietung, und dies ist im Rahmen des kognitiv-evolutionären Modells nur schwer plausibel zu erklären.

Die von Niepel et al. (1994) vorgeschlagene Alternativerklärung nahm dagegen an, daß unter den bei Meyer et al. (1991) realisierten Bedingungen bei zeitgleicher Darbietung für einen Großteil der Versuchspersonen die Unterbrechungslatenz größer ist als die Initiierungslatenz ($u > i$). Entsprechend sollte der Anteil an Personen ohne jede Reaktionszeitverzögerung in dieser Bedingung sehr hoch sein – mit der Folge, daß die *durchschnittliche* Reaktionszeitverzögerung insgesamt gering ausfällt.

Reaktionszeitprozesse bei zeitlicher Sicherheit ($u > i$)



Reaktionszeitprozesse bei zeitlicher Unsicherheit ($i > u$)



Überraschungsprozesse

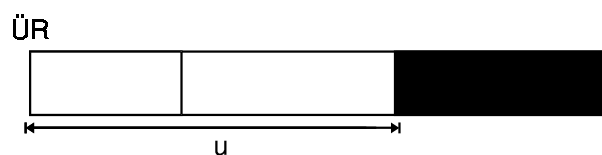


Abbildung 3. Veranschaulichung der Überlegungen, die der Variation der zeitlichen Unsicherheit bei Niepel et al. (1994) zugrunde lagen. Bei zeitlicher Sicherheit sollte $u > i$ gelten; und die Antwort wird initiiert, bevor die Unterbrechungsfunktion wirksam ist. Bei zeitlicher Unsicherheit sollte dagegen $i > u$ gelten, so daß die Reaktionszeitprozesse noch vor der Antwortinitiierung unterbrochen werden können.

Diese Interpretation wurde von Niepel et al. (1994) experimentell wie folgt überprüft. Wenn das Wettlauf-Modell zutrifft, so nahmen die Autoren an, dann sollte eine Veränderung der Aufgabe, die eine Verlängerung der Initiierungslatenz bewirkt, den Anteil an Versuchspersonen mit Reaktionszeitverlängerung bei einer zeitgleichen Darbietung erhöhen (vergleiche Abbildung 3). Die Autoren führten daher neben dem SOA, das wie bei Meyer et al. (1991) die Ausprägungen 0, 0.5, 1 und 2 s haben konnte, *zeitliche Unsicherheit* als zweiten experimentellen Faktor ein. Die Bedingungen ohne zeitliche Unsicherheit entsprachen exakt den entsprechenden Bedingungen in Meyer et al. (1991). Hier wurde für jede Versuchsperson über alle Durchgänge des Experimentes das gleiche SOA realisiert. Wenn das SOA in jedem Durchgang gleich ist, besteht keine zeitliche Unsicherheit über den Zeitpunkt der Darbietung des Zielreizes. In der Bedingung mit zeitlicher Unsicherheit dagegen unterschieden sich die Bedingungen ausschließlich im letzten, kritischen Durchgang, in dem das SOA zwischen überraschendem Reiz und Zielreiz entweder 0, 0.5, 1, oder 2 s betrug. In den vorausgegangenen Durchgängen dagegen wurde für jede einzelne Versuchsperson in verschiedenen Durchgängen verschiedene SOA realisiert. Diese Versuchspersonen wußten in keinem Versuchsdurchgang, welches SOA als nächstes realisiert werden würde, es bestand daher zeitliche Unsicherheit bezüglich des Zielreizes.

Es wurde erwartet, daß es einer Versuchsperson in der Bedingung ohne zeitliche Unsicherheit leichter fallen würde, die Antwort schnell zu initiieren, da das immer gleiche SOA optimale Bedingungen für eine Vorbereitung auf den Zielreiz bietet. Entsprechend sollte die Initiierungslatenz i relativ klein sein. Demgegenüber sollte eine Versuchsperson mit zeitlicher Unsicherheit weniger gut in der Lage sein, sich auf den Zielreiz vorzubereiten. Dies ist deshalb anzunehmen, weil der Zustand der Vorbereitung nur kurzzeitig aufrecht erhalten werden kann, so daß die effektive Nutzung der Vorbereitung nicht möglich ist, wenn der Zeitpunkt des Zielreizes unbekannt ist. Ohne Vorbereitung jedoch sollte die Initiierungslatenz relativ lang sein. Tatsächlich hatte die zeitliche Unsicherheit einen Einfluß auf die Dauer der Reaktionszeitverzögerungen, und dieser Einfluß war bei zeitgleicher Darbietung von ZR und ÜR am ausgeprägtesten (vergleiche Abbildung 4).

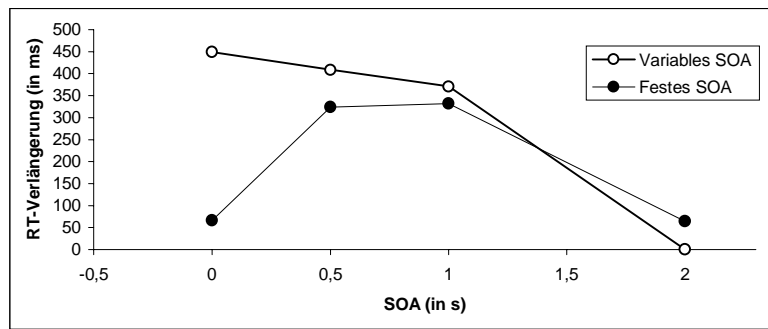


Abbildung 4. Reaktionszeitunterschiede zwischen Experimentalgruppe und Kontrollgruppe im kritischen Durchgang in Abhängigkeit vom SOA zwischen dem überraschenden Reiz und dem Zielreiz im Experiment 2 aus der Arbeit von Niepel et al. (1994). Die Daten für die Gruppen mit variablen vs. festen SOA sind getrennt dargestellt. Die Daten sind Tabelle 2 der Arbeit entnommen.

Unter der Annahme, daß das Wettlauf-Modell zutrifft, lassen die Ergebnisse von Niepel et al. (1994) Rückschlüsse auf die Unterbrechungslatenz zu. Nach diesem Modell ist für die meisten Versuchspersonen die Unterbrechungslatenz größer als die Initiierungslatenz, wenn zeitliche Sicherheit besteht (vgl. Abbildung 3). Die Initiierungslatenz bei zeitlicher Sicherheit gibt also einen *unteren* Grenzwert für die Schätzung der Unterbrechungslatenz an. Die beste verfügbare empirische Schätzung der Initiierungslatenz ist die Reaktionszeit. Zwar muß die Initiierung der Antwort stets vor ihrer Ausführung stattfinden, so daß die Reaktionszeit die Initiierungslatenz überschätzt. Genauer gesagt werden nach der Initiierung die motorischen Kommandos abgeschickt, über die efferenten Nervenbahnen zu den Effektoren geleitet und dort in Muskelaktivität umgesetzt. Allerdings sollte diese Überschätzung größenordnungsmäßig eher gering sein, insbesondere weil die Bewegung des Tastendrucks sehr einfach ist. Die Reaktionszeit im kritischen Durchgang der Kontrollgruppe ohne zeitliche Unsicherheit betrug 436 ms im Experiment von Meyer et al. (1991) und 582 ms im Experiment von Niepel et al. (1994). Aufgrund dieser zwei Werte läßt sich die Unterbrechungslatenz in einer ersten Annäherung auf etwa 500 ms schätzen.

Läßt sich die bisher dargestellte Befundlage auch ohne die Annahme einer spezifischen

Unterbrechungsfunktion erklären?

Die zwei vorauslaufend beschriebenen Experimente mit zeitgleicher Darbietung von ZR und ÜR lassen also Rückschlüsse auf Merkmale der Unterbrechungsfunktion zu – vorausgesetzt, daß eine solche existiert. Allerdings sind die Ergebnisse gleichfalls mit einem Modell verträglich, das auf die Annahme einer speziellen Unterbrechungsfunktion verzichtet, und das insofern als sparsamer bezeichnet werden kann. Es wäre nämlich denkbar, daß die Handlungsverzögerung nicht – wie im kognitiv-evolutionären Überraschungsmodell angenommen – eine *unwillkürliche* Antwort auf das überraschende Ereignis ist, sondern vielmehr auf einer *willkürlichen* Entscheidung der Versuchsperson beruht, das überraschende Ereignis zu analysieren und zu bewerten. (Die Unterscheidung zwischen automatischen und willkürlichen Prozessen wird im nächsten Abschnitt genauer ausgeführt; zunächst sollte die alltagssprachliche Bedeutung von unwillkürlich vs. willkürlich für das Verständnis ausreichend sein). In diesem Falle läßt sich die Handlungsverzögerung als Interferenz zwischen den *willkürlichen* Antworten auf zwei in zeitlicher Nähe dargebotene Reize auffassen: als Interferenz zwischen der willkürlichen Antwort auf das überraschende Ereignis und der willkürlichen Antwort auf den Zielreiz der Wahlreaktionsaufgabe. Ein solcher Interferenzeffekt zwischen zwei intentionalen Antworten wird im Rahmen der Forschung zur psychologischen Refraktärperiode (PRP) untersucht (vgl. Pashler, 1994; Welford, 1980).

Der PRP Effekt besteht darin, daß kurz nach Erhalt eines ersten Reizes S1, auf den die Antwort R1 auszuführen ist, die auf einen nachfolgenden Reiz S2 auszuführende Antwort R2 erst mit einer Verzögerung erfolgt (siehe Abbildung 5). Der PRP Effekt kann experimentell im sogenannten Doppel-Stimulations-Paradigma hervorgebracht und untersucht werden. Die zwei Reize S1 und S2 werden am besten in unterschiedlichen Modalitäten dargeboten, so daß mögliche Interferenzeffekte nicht bereits durch (triviale) Schwierigkeiten bei der sensorischen Informationsaufnahme (Input-Interferenz) erklärbar sind. Ferner verwendet man im Idealfall deutlich unterschiedliche Effektorsysteme für R1 und R2, beispielsweise einen Tastendruck als R1 und eine verbale Antwort als R2, um (triviale) Unvereinbarkeiten bei der motorischen Ausführung der Antworten (Output-Interferenz) möglichst weitgehend auszuschließen.

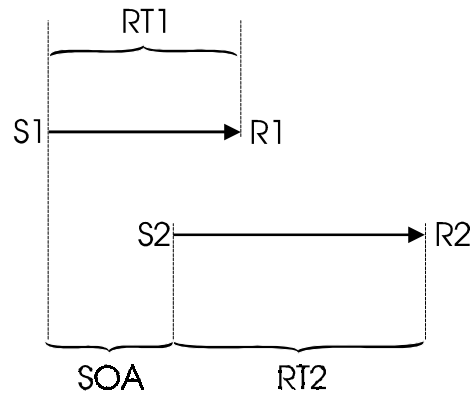


Abbildung 5. Die Elemente des PRP Effekts, wie er im Doppel-Stimulations-Paradigma hervorgerufen wird. S1 und S2 sind die Reize, auf die mit R1 und R2 geantwortet werden muß. Eine wesentliche unabhängige Variable ist das SOA zwischen S1 und S2; die abhängige Variable ist RT2

Die wesentliche experimentelle Manipulation besteht in einer Variation des SOA zwischen S1 und S2 ; so könnte beispielsweise der Beginn von S1 und S2 durch ein zeitliches Intervall von 50, 100, 150, 250, 500 oder 1000 ms getrennt sein. Allgemein gesagt besteht eine reziproke Beziehung zwischen dem Interferenzeffekt und dem SOA, d.h. die Interferenz ist am stärksten bei kurzen SOA und am schwächsten bei langen SOA. Was die jeweiligen Autoren seit Beginn der Erforschung dieses Effektes beeindruckt hat, war der Sachverhalt, daß wenn die Reaktionszeit gegen das SOA abgetragen wird, die Steigung des Graphen bei den kurzen SOA etwa -1 beträgt (vgl. Abbildung 6). Mit anderen Worten: eine *Verkürzung* des SOA zwischen den zwei Reizen um beispielsweise 50 ms *erhöht* die Reaktionszeit um etwa 50 ms. Das erstaunliche an diesem Ergebnis ist, daß es die Vorstellung nahelegt, das kognitive System sei nach Erhalt von S1 für kurze Zeit vollständig refraktär, also unempfindlich, gegenüber einer Verarbeitung von S2.

Der PRP Effekt geht nach heutigem Kenntnisstand auf einen „Flaschenhals“ zurück, der zentralen Prozesse, und zwar insbesondere Vorgänge der Antwortwahl (möglicherweise auch die Antwortinitialisierung) betrifft (vgl. Pashler, 1994; Welford, 1980). Ein Flaschenhals kann wie folgt definiert werden: „Zu sagen, daß ein Prozeß a einen Flaschenhals darstellt, meint einfach, daß wenn Prozeß a in Aufgabe 1 ausgeführt wird, er nicht gleichzeitig auch in Aufgabe 2 ausgeführt werden kann“ (Pashler, 1994, S. 223). Übertragen auf die Hypothese, daß der PRP Effekt auf einen Flaschenhals bei der Antwortwahl zurückgeht, bedeutet dies also, daß die Vorgänge der Antwortwahl für R2

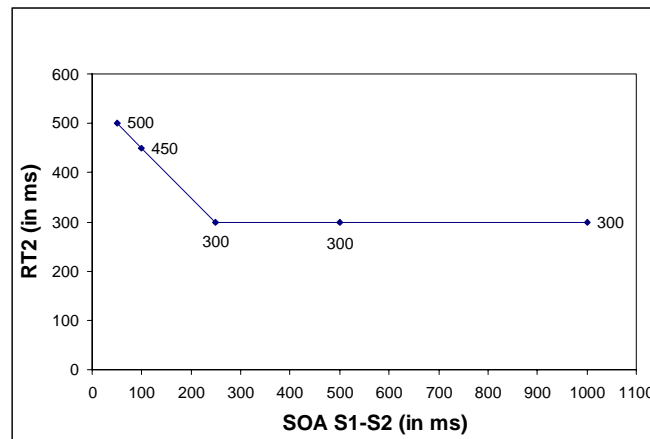


Abbildung 6. Der PRP-Effekt. Die Abbildung zeigt die idealisierte Abhängigkeit der Reaktionszeit auf den zweiten von zwei Reizen (RT2) von dem SOA zwischen diesen zwei Reizen

nicht stattfinden können, solange sie für R1 nicht abgeschlossen sind. Bis zum Abschluß der Verarbeitung von S1 verbleibt S2 daher in einer Warteschlange.

Die Analogie zwischen der im Diskreten Paradigma gefundenen Reaktionszeitverzögerung bei $SOA > 0$ und dem PRP-Effekt ist nun folgende: In beiden Fällen werden zwei Reize – nämlich der ÜR und der ZR bzw. S1 und S2 – in kurzem zeitlichem Abstand dargeboten, und in beiden Fällen nimmt die Stärke der Verzögerung des zuletzt dargebotenen Reizes (mit anderen Worten: die Stärke der Interferenz) mit zunehmendem SOA ab (vergleiche Abbildung 4 und Abbildung 6). Die interferenzerzeugenden Prozesse im Diskreten Paradigma, die eine Verzögerung der Reaktionszeit hervorrufen, könnten einfach die intentionalen Prozesse der Analyse und Bewertung des ÜR sein, und sie könnten diese Interferenz deshalb hervorrufen, weil sie einen Flaschenhals der Informationsverarbeitung besetzen. Bis zum Abschluß dieser Prozesse verbleibt die ZR in der Warteschlange.

Die kritische Frage lautet, ob ein solches Modell auch die Befunde bei zeitgleicher Darbietung von ÜR und ZR erklären kann. Auch hier muß wieder ein Wettlauf-Modell zugrunde gelegt werden, bei dem entscheidend ist, welcher von zwei zunächst parallel ablaufenden Prozessen als erster die zentrale Verarbeitungsstufe erreicht. Dieser Prozeß wird die Stufe der zentralen Verarbeitung besetzen und hierdurch den anderen Prozeß von einer zentralen Verarbeitung ausschließen und in die Warteschlange verweisen. Im übrigen funktioniert das Modell ähnlich wie das Wettlauf-Modell von Niepel et al. (1994). Bei zeitgleicher Darbietung von ZR und ÜR sind wiederum zwei zeitliche Parameter ausschlaggebend für die Reaktionszeitverzögerung. Die Latenz der zentralen

Reaktionszeitprozesse r bezeichnet das zeitliche Intervall zwischen Darbietung des ZR und Beginn der zentralen Prozesse der Reaktionszeitaufgabe. Die Latenz der Überraschungsprozesse \ddot{u} bezeichnet das zeitliche Intervall zwischen der Darbietung des ÜR und dem Beginn der Prozesse der Analyse und Bewertung. Wenn die Prozesse der Analyse und Bewertung schneller starten als die zentralen Prozesse der Reaktionszeitaufgabe ($\ddot{u} < r$) resultiert auch bei zeitgleicher Darbietung von ZR und ÜR eine Handlungsverzögerung. Wenn demgegenüber die zentralen Prozesse der Reaktionszeitaufgabe früher starten als die Analyse und Bewertung ($r < \ddot{u}$), wird die Reaktionszeit durch den ÜR nicht beeinflusst. Abbildung 7 stellt das vorauslaufend Gesagte grafisch dar und macht augenfällig, daß sich nur ein Merkmal des Modells ändert. Während nämlich im Modell von Niepel et al. das *Ende* der zentralen Prozesse der Reaktionszeitaufgabe entscheidend für die Reaktionszeitverzögerung ist, ist es im alternativen Modell der *Beginn* der zentralen Prozesse.

Um die Daten von Niepel et al. (1994) ohne Annahme einer automatischen Unterbrechungsfunktion zu erklären muß also angenommen werden, daß bei zeitlicher Sicherheit die Reaktionszeitprozesse (im Durchschnitt) schneller starten als die Überraschungsprozesse und daß bei zeitlicher Unsicherheit die Überraschungsprozesse (im Durchschnitt) schneller starten als die Reaktionszeitprozesse. Es lassen sich zumindest zwei Argumente für diese Annahme finden. Erstens könnte, ganz analog zur Annahme von Niepel et al. (1994), die Verarbeitung des ZR bei zeitlicher Unsicherheit weniger gut vorbereitet sein als bei zeitlicher Sicherheit, was den Überraschungsprozessen bei zeitlicher Unsicherheit einen Vorteil verschafft. Zweitens könnten Unterschiede in der

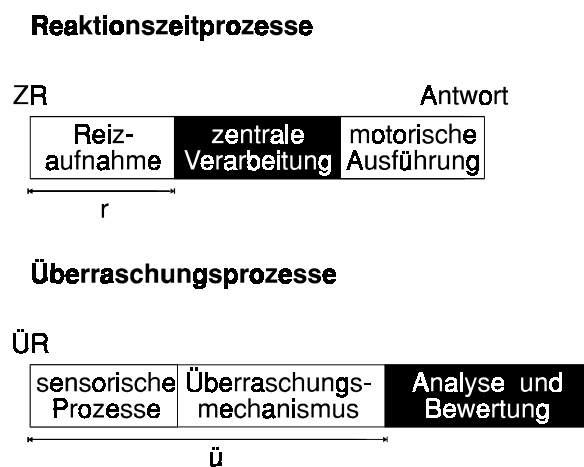


Abbildung 7. Veranschaulichung der Alternativerklärung zur Unterbrechungshypothese unter Verwendung eines Wettlaufmodells von Reaktionszeitprozessen und Überraschungsprozessen

strategischen Vorgehensweise der Versuchspersonen solche Bedingungen herbeiführen. In der Bedingung mit zeitlicher Sicherheit wurde der ZR stets 1.4 s nach dem Warnsignal dargeboten, was zum einen eine nahezu optimale Vorbereitung auf die Verarbeitung des ZR ermöglicht (Woodworth & Schlosberg, 1954), und zum anderen wenig Anreiz bietet, den irrelevanten Zusatzreiz (dessen veränderte Darstellung im überraschenden Durchgang das überraschende Ereignis darstellte) gewohnheitsmäßig zu beachten. Im Gegensatz dazu konnte in der Bedingung mit zeitlicher Unsicherheit der Zielreiz bei den SOA 0.5, 1 und 2 s als zusätzlicher zeitlicher und räumlicher Anker verwendet werden, um Zeitpunkt und Ort des ZR ungefähr vorhersagen zu können. Dies wiederum könnte Anlaß zur Ausbildung einer Strategie gegeben haben, den irrelevanten Zusatzreiz stets zu beachten. Die strategische Beachtung vs. Nichtbeachtung des irrelevanten Zusatzreizes könnte den Beginn der Verarbeitung des überraschenden Ereignisses beschleunigt bzw. verlangsamt haben und somit zu dem beobachteten Ergebnismuster geführt haben.

Zusammengefaßt zeigen die im Diskreten Paradigma durchgeführten Experimente in Übereinstimmung mit dem kognitiv-evolutionären Modell der Überraschung, daß die Darbietung eines überraschenden Reizes mit der Verarbeitung des Zielreizes in einer Wahlreaktionsaufgabe interferiert. Allerdings erlaubt der Großteil der im Diskreten Paradigma durchgeführten Experimente keine Aussage über die Unterbrechungsfunktion, da der überraschende Reiz in der Vorperiode der Wahlreaktionsaufgabe dargeboten wurde, in der von den Versuchspersonen keine Handlung auszuführen war. Für eine Demonstration des Wirkens der Unterbrechungsfunktion ist jedoch der Nachweis notwendig, daß die Handlung zum Zeitpunkt des überraschenden Ereignisses bereits begonnen hat und noch nicht beendet ist. Diese Bedingungen sind jedoch bisher nicht realisiert worden. Ihnen am nächsten kommen zwei Experimente, in denen ZR und ÜR gleichzeitig dargeboten wurden. Unter der Annahme der Unterbrechungshypothese lassen diese Experimente vermuten, daß die Unterbrechungsfunktion eine größere Latenz aufweist als eine Wahlreaktion bei einem festen SOA, und die Größe dieser Latenz wurde in einer ersten Annäherung auf 500 ms geschätzt. Es ist allerdings zu beachten, daß diese zwei Experimente mit einer gewissen Plausibilität auch unter Verzicht auf die Annahme einer Unterbrechungsfunktion erklärt werden können, so daß weitere Experi-

mente notwendig sind, um einen überzeugenden Beleg für die Existenz einer solchen Unterbrechungsfunktion zu erlangen.

Automatizität

Der Emotionspsychologe Paul Ekman drückte einen jedem bekannten Sachverhalt über Emotionen folgendermaßen aus: "Emotions are unbidden, not chosen by us" (Ekman, 1999, 54). Daß Emotionen keine Handlungen sind, ausgeführt um ein bewußt verfolgtes Ziel zu erreichen, sondern vielmehr mentale Phänomene, deren Auftreten unmittelbar und unausweichlich durch äußere Reize oder Gedanken hervorgerufen zu sein scheint, ist vermutlich ein Teil der alltagspsychologischen (common-sense) Theorie der Emotion. Emotionen erscheinen den Menschen, die sie erleben, als reflexartige oder automatische Reaktion auf die auslösenden Reize.

Auch die evolutionspsychologische Sichtweise von Emotionen legt es nahe, Emotionen als Automatismen anzusehen. Überraschung etwa wird von Meyer et al. (1997) als phylogenetisch alter Mechanismus angesehen, dessen adaptives Ziel in der Entdeckung und Berichtigung fehlerhafter Repräsentationen besteht. Diese Sichtweise legt einen robusten und in der Erreichung seines adaptiven Ziels zuverlässigen Mechanismus nahe, dessen Auslösung und Ablauf wenig durch momentane Wünsche des Organismus und der momentanen Ausrichtung der Aufmerksamkeit beeinflußt wird. Wie im weiteren noch genauer ausgeführt wird, sind Nicht-Intentionalität und Effizienz wichtige Merkmale automatischer Prozesse. Auch das angenommene phylogenetisch frühe Auftreten eines Überraschungsmechanismus legt Merkmale von Automatizität nahe, insbesondere eine reizgesteuerte und nicht über Intentionen vermittelte Auslösung von Komponenten der Überraschungsreaktion.

Um sinnvoll eine mögliche Automatizität der Überraschungsreaktion im allgemeinen sowie der Unterbrechungsfunktion im besonderen zu diskutieren, ist es zunächst notwendig genauer zu betrachten, was Automatizität eigentlich ist, und wie sich Automatizität untersuchen läßt. Daher wird im folgenden das Konzept der Automatizität dargestellt, wie es in der Kognitiven Psychologie sowie zunehmend auch in der Sozialpsychologie verwendet wird. Hierbei wird zunächst die "klassische" Sichtweise von Posner und Snyder (1975) dargestellt. Anschließend wird am Beispiel der Orientierung der Aufmerksamkeit dargestellt, wie die Merkmale der Intentionalität, der Interferenz und

der Bewußtheit zur Unterscheidung von willentlichen und automatischen Prozessen verwendet worden sind. Im weiteren werden verschiedene Kritikpunkte an der klassischen Sichtweise von Automatizität dargestellt und diskutiert.

Die klassische Sichtweise der Automatizität

„To what extent are our conscious intentions and strategies in control of the way information is processed in our minds?“ Diese Frage stellten Posner und Snyder (1975) ihrer viel zitierten Arbeit über Aufmerksamkeit und kognitive Kontrolle voran. Das Ziel dieser Arbeit bestand in einer Analyse, wie bewußte und automatische Prozesse gemeinsam das Handeln bestimmen. Posner und Snyder schlagen drei – ihrer eigenen Einschätzung nach strenge – operationale Kriterien für einen automatischen Prozeß vor: er soll (a) ohne Intention ablaufen, (b) ohne daß sein Ablauf im bewußten Erleben gegeben wäre, und (c) ohne mit anderen gleichzeitig ablaufenden Prozessen zu interferieren. Diese drei primären Kriterien der Automatizität werden im folgenden als die Kriterien der Intentionalität, der Bewußtheit und der Interferenz bezeichnet (Neumann, 1984). Man beachte übrigens, daß Intentionalität, Bewußtheit und Interferenz Merkmale *wilientlicher* Vorgänge sind, und daß automatische Prozesse durch die Negation jedes einzelnen dieser drei Merkmale definiert sind, also durch Nicht-Intentionalität, Nicht-Bewußtheit und Interferenzlosigkeit.

Solche im Prinzip auf alle Arten von Prozessen anwendbaren Kriterien sind nach Posner und Snyder insbesondere deshalb unverzichtbar, weil ihrer Ansicht nach intentionale, bewußte und kapazitätsbegrenzte Informationsverarbeitung nicht *fest* durch eine einzelne Stufe in der Informationsverarbeitung bestimmt ist. Vielmehr nahmen Posner und Snyder an, daß der in seiner Kapazität beschränkte Mechanismus der bewußten Aufmerksamkeit *flexibel* auf unterschiedliche Stufen der Informationsverarbeitung angewendet werden kann, und etwa nach Belieben auf die Analyse einzelner Reizmerkmale, die Suche im Gedächtnis oder die Auswahl und Organisation von Handlungen gerichtet werden kann. Da aber nach dieser Sichtweise ein automatischer Prozeß nicht einfach anhand seiner Zuordnung zu einer bestimmten Stufe der Informationsverarbeitung identifiziert ist, werden offenbar andere Kriterien für eine Unterscheidung zwischen automatischen und kontrollierten Prozessen benötigt.

Posner und Snyder veranschaulichen die drei Kriterien mit einer Anzahl experimenteller Phänomene, die alle eine bestimmte Form von automatischer Verarbeitung betreffen, und zwar Leitungsbahnaktivierung (pathway activation). Die Überlegungen von Posner und Snyder sollen nachfolgend dargestellt werden. Allerdings sei bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß die Behandlung der Leitungsbahnaktivierung als automatischer *Prozeß* im Sinne einer aktiven Transformation von Information kritisiert worden ist (genauer hierzu in einem späteren Abschnitt).

Das Kriterium der *Intentionalität* veranschaulichen Posner und Snyder mit dem bekannten Stroop-Effekt. Personen können nicht einfach beschließen, bestimmte einzelne Aspekte eines Objektes zu verarbeiten und andere Aspekte desselben Objektes zu ignorieren. Der Stroop-Effekt beruht auf dieser Schwierigkeit. Bei einer Stroop-Aufgabe werden Versuchspersonen Farbwörter (z.B. BLAU, GELB, GRÜN) vorgelegt, die in verschiedenen Druckfarben (z.B. in blauer, gelber oder grüner Druckfarbe) gedruckt sind. Die Aufgabe der Versuchsperson besteht darin, die Druckfarbe des Wortes zu benennen. Wenn das Wort BLAU etwa in gelber Druckfarbe gedruckt ist, dann sollen die Versuchspersonen mit "Gelb" antworten. Die Druckfarbe und das Farbwort können entweder übereinstimmen (etwa wenn BLAU in blauer Druckfarbe gedruckt ist) oder nicht übereinstimmen (etwa wenn BLAU in gelber Druckfarbe gedruckt ist). Der Stroop-Effekt besteht in relativ langen Reaktionszeiten, wenn Farbwort und Druckfarbe nicht übereinstimmen, gegenüber Farbwörtern, bei denen Druckfarbe und Farbwort übereinstimmen, oder gegenüber einer unter Verwendung von farbig gedruckten Nichtworten (z.B. XXXX) gebildeten Kontrollbedingung. Dieser Effekt wird von Posner und Snyder als Ergebnis einer automatischen Leitungsbahnaktivierung interpretiert. Offensichtlich werden die Farbwörter von den mit einer Stroop-Aufgabe konfrontierten Personen verarbeitet, denn andernfalls könnten sie schließlich keinen Einfluß auf die Reaktionszeit ausüben. Hiermit handelt die Versuchsperson jedoch nicht instruktionsgemäß, denn ihre Aufgabe besteht darin, die Druckfarbe so schnell wie möglich zu benennen; das Befolgen dieser Instruktion beinhaltet jedoch, dieser Aufgabe absolute Priorität einzuräumen und nicht etwa andere Handlungen, wie z.B. das Farbwort zu lesen, vorher auszuführen. Vorausgesetzt, die Versuchsperson ist kooperativ und beabsichtigt (intendiert) die Instruktion zu befolgen, dann folgt, daß das Lesen der Farbwörter *unbeabsichtigt* geschieht. Nebenbei gesagt ist der Stroop-Effekt auch subjektiv deutlich wahr-

nehmbar und macht die Aufgabenbearbeitung beschwerlich, so daß eine Person auch von sich aus motiviert sein sollte, die Farbwörter zu ignorieren und ausschließlich die Druckfarbe zu beachten. Dies deutet darauf hin, daß das Lesen der Farbwörter nicht nur unabsichtlich, sondern darüber hinaus auch *unvermeidbar* ist, das heißt erfolgt, obwohl die Absicht besteht, dies nicht zu tun.

Posner und Snyder nehmen an, daß die automatische Aktivierung von Leitungsbahnen, wie sie für das Zustandekommen des Stroop-Effektes bedeutsam ist, nicht zu einer *bewußten Repräsentation* des betreffenden Inhalts Anlaß geben muß. Die Autoren zitieren als Illustration ein Experiment von Conrad (1974), die ihren Versuchspersonen in jedem Durchgang zuerst auditiv einen Satz darbot, den die Versuchspersonen später erinnern sollten, und unmittelbar anschließend ein farbig gedrucktes Wort, dessen Druckfarbe die Versuchspersonen so schnell wie möglich benennen sollten. In den Experimentaldurchgängen endete der Satz auf ein Wort, das außerhalb eines konkreten Satzzusammenhangs mehrere Bedeutungen haben kann, also ein „Teekesselchen“, wie etwa Schloß, Feder, Blume, etc. Innerhalb eines konkreten Satzes allerdings sind solche Wörter eindeutig, und es wird nur eine der möglichen Bedeutungen bewußt wahrgenommen; technisch gesprochen wird das mehrdeutige (ambige) Wort durch den Kontext *disambiguiert*. Beispielsweise wird das mehrdeutige Wort "Schloß" durch den Satz „Die Prinzessin wohnt im Schloß“ disambiguiert. Unmittelbar nach dem auditiv dargebotenen Satz erschien auf einem Bildschirm das farbig gedruckte Wort. Dieses Wort war entweder (a) das mehrdeutige Wort (etwa Schloß), (b) der Name einer Kategorie, die für die bewußte Bedeutung des mehrdeutigen Wortes angemessen war (etwa Bauwerk) oder (c) der Name einer Kategorie, die für die alternative Bedeutung angemessen war (etwa Verriegelung). In den Kontrolldurchgängen gab es keine semantische Beziehung zwischen den auditiv dargebotenen Sätzen und den farbig gedruckten Wörtern.

Conrad konnte nun zeigen, daß die Reaktionszeiten für farbig gedruckte Wörter in den Experimentaldurchgängen länger waren als in den Kontrolldurchgängen. Mit anderen Worten, die Reaktionszeiten waren länger, wenn das farbig gedruckte Wort einen semantischen Bezug zu dem mehrdeutigen Wort des auditiv dargebotenen Satzes hatte. Bemerkenswerterweise waren die Reaktionszeiten dabei auch dann verlängert, wenn das farbig gedruckte Wort die angemessene Kategorie für die alternative Bedeutung des mehrdeutigen Wortes war. Offenbar war also die alternative Bedeutung des

mehrdeutigen Wortes in ähnlicher Weise aktiviert wie die durch den Satzkontext disambiguierte Bedeutung. Da wie gesagt üblicherweise die alternative Bedeutung nicht bewußt ist, deutet dieser Befund darauf hin, daß eine Aktivierung der Leitungsbahnen, wie sie durch die Reaktionszeiteffekte angezeigt wird, nicht notwendigerweise eine bewußte Repräsentation nach sich zieht.

Das Kriterium der *Interferenz* beruht auf der alltäglichen Beobachtung, daß Menschen zwei Aufgaben normalerweise schlechter – also langsamer oder mit mehr Fehlern – erledigen, wenn sie diese zwei Aufgaben gleichzeitig ausführen, als wenn sie diese zwei Aufgaben nacheinander ausführen; offensichtlich interferieren gleichzeitig ablaufende Prozesse miteinander. Das Kriterium der Interferenz besagt nun, daß Interferenz nur zwischen Paaren von bewußt kontrollierten Aufgaben zu erwarten ist, nicht jedoch, wenn mindestens eine der beiden Aufgaben automatisch ist. Während bewußt kontrollierte Prozesse durch gegenseitige Interferenz charakterisiert sind, sind automatische Prozesse durch parallele Verarbeitung gekennzeichnet.

Posner und Snyder interpretieren die Ergebnisse aus Experimenten zum dichotischen Hören als Beispiel für eine solche parallele Informationsverarbeitung. Die Versuchsperson bekommt über einen Kopfhörer auf beiden Ohren verschiedene Tonbandspuren mit je unterschiedlichen Botschaften dargeboten. Nur eine dieser Tonbandspuren soll von der Versuchsperson beachtet werden. Um zu gewährleisten, daß die Versuchsperson diese Tonbandspur tatsächlich instruktionsgemäß beachtet, bekommt sie die Aufgabe, den auf dieser Spur dargebotenen Text zu „beschatten“, was dadurch kontrolliert wird, daß der Text von der Versuchsperson begleitend nachgesprochen werden muß.

In solchen Experimenten zum dichotischen Hören zeigt sich eine Dissoziation zwischen der expliziten Gedächtnisleistung und für den Text auf der unbeachteten Tonspur und anderen Maßen für eine semantische Verarbeitung dieser Tonspur. So haben die Versuchspersonen nämlich eine gute Erinnerung an die auf der beachteten Tonspur dargebotenen Inhalte, jedoch kaum eine Erinnerung an die auf der unbeachteten Tonspur dargebotenen Inhalte. Andererseits können semantische Merkmale des Materials auf der unbeachteten Tonspur eine unwillkürliche Orientierung der bewußten Aufmerksamkeit auslösen. So zeigte etwa Moray (1959), daß Versuchspersonen häufig die Nennung ihres eigenen Namens auf der unbeachteten Tonspur bemerken, obwohl sie sonst

kaum etwas von dem Inhalt mitbekommen. Solche und ähnliche Ergebnisse deuten auf eine weitgehende Analyse der Inhalte der unbeachteten Tonspur hin, denn andernfalls hätte die bewußte Aufmerksamkeit nicht auf den eigenen Namen gelenkt werden können. Andererseits erfolgt diese Analyse offenbar parallel zur eigentlichen Aufgabe, deren Ausführung durch das Beschatten erzwungen wurde.

Andere Merkmale automatischer und bewußt kontrollierter Prozesse. Zusätzlich zu den primären Kriterien Bewußtsein, Interferenz und Intentionalität, werden gelegentlich weitere Merkmale angeführt. Zu diesen sekundären Kriterien gehören vor allem Einfachheit, Schnelligkeit und Starrheit (siehe Neumann, 1984). Bezüglich des Merkmals der *Einfachheit* gibt es beispielsweise Belege, daß die Bedeutung einzelner Wörter auch dann analysiert werden kann, wenn die Wörter unterhalb der subjektiven Wahrnehmungsschwelle dargeboten werden; daß sich eine solche Analyse auch auf die Bedeutung von Sätzen erstreckt, ist jedoch zweifelhaft (Greenwald, 1992). Offenbar können für unterhalb der Wahrnehmungsschwelle dargebotene Wörter nur einfache semantische Analysen durchgeführt werden.

Als Beispiel für das Merkmal der *Schnelligkeit* kann der Unterschied zwischen automatischer Aktivierung und bewußten Erwartungen dienen. So zeigte etwa Neely (1977), daß Primes (beispielsweise das Wort VOGEL) zwei Arten von Effekten auf die Verarbeitung nachfolgend dargebotener Zielreize (z.B. Rotkehlchen) haben können. Erstens kann ein Prime die Verarbeitung eines *semantisch mit ihm in Beziehung stehenden* Zielreizes beschleunigen. Dieser Effekt tritt sehr schnell als Folge der Darbietung des Primes auf. Zweitens kann ein Prime, der ein *guter Prädiktor für eine bestimmte Kategorie* von Begriffen ist, die Verarbeitung von Mitgliedern dieser Kategorie beschleunigen. Neely teilte beispielsweise seinen Versuchspersonen mit, daß auf den Prime GEBÄUDE mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein Zielreiz aus der Kategorie Körperteile folgen würde. Es zeigte sich, daß erwartete Zielreize (z.B. Bein) schneller verarbeitet werden als unerwartete Zielreize (z.B. Spatz) oder Zielreize, denen ein neutraler Prime („XXX“) vorausgegangen war. Dieser – offenbar auf bewußte Erwartungen der Versuchspersonen zurückgehende – Effekt setzt jedoch erst relativ spät ein. Offenbar ist Schnelligkeit ein Merkmal, das zwischen automatischer Aktivierung und bewußten Erwartungen unterscheidet.

Das Merkmal der *Starrheit* (im Unterschied zu Flexibilität; siehe etwa Shiffrin & Schneider, 1977) kann leicht anhand des Unterschiedes zwischen der Ausführung neuer Bewegungsfolgen und gut gelernter motorischer Fertigkeiten veranschaulicht werden. Personen können mit Hilfe ihres Repertoires an grundlegenden motorischen Fertigkeiten eine große Vielfalt von Bewegungsfolgen ausführen (Schmidt, 1988). Die Ausführung einer neuen, d.h. vorauslaufend noch nie ausgeführten Bewegungsfolge, unterliegt dabei der bewußten Kontrolle der Person. Solche bewußt kontrollierten Bewegungsfolgen sind extrem flexibel, d.h. sie können den momentanen Zielen der Person und den Erfordernissen der Situation leicht angepaßt werden. Wenn eine solche Bewegungsfolge immer wieder ausgeführt wird, wird sie zunehmend automatisiert. Dies hat unter anderem zur Folge, daß die Ausführung der Bewegungsfolge zunehmend stereotyp wird, und daß die Person daher auf Veränderungen des Ziels oder der Erfordernisse der Situation nicht so leicht reagieren kann. Der geradezu berüchtigte, beim Ver- oder Umlernen einer gewohnten Bewegungsabfolge zu überwindende Widerstand ist ein Effekt der Starrheit automatisierter Prozesse.

Tests der Automatizität für einen psychischen Mechanismus: Das Beispiel der automatischen Orientierung der Aufmerksamkeit

Die automatische Aktivierung von Leitungsbahnen ist möglicherweise ein automatischer, in jedem Fall jedoch ein wenig aktiver Vorgang. So kritisiert etwa Neumann (1984), daß Leitungsbahnaktivierung eher ein *Zustand* der Bereitschaft zur Verarbeitung von Informationen darstellt, und als solcher von *Prozessen* (also Übergängen zwischen Zuständen) der Verarbeitung von Informationen klar unterschieden werden sollte, in denen Informationen aufgenommen und bewertet werden, und in denen daran anschließende Handlungen geplant und ausgeführt werden. Die Orientierung der Aufmerksamkeit ist dagegen ein Phänomen, dessen Status als Prozeß unstrittig ist; und während viele der von Posner und Snyder genannten Experimente nicht im Hinblick auf Automatizität durchgeführt worden waren, ist die Orientierung der Aufmerksamkeit mit der expliziten Zielsetzung eines Tests der Automatizität untersucht worden. Es scheint daher instruktiv zu sein, sich anzuschauen, wie eine Trennung zwischen einer automatischen vs. einer willentlichen Orientierung der Aufmerksamkeit geführt worden ist.

Aufmerksamkeit kann von einem Ort des visuellen Feldes zu einem anderen Ort verlagert werden. Bei einer solchen Neuorientierung der Aufmerksamkeit lassen sich in der Regel Augenbewegungen beobachten (man spricht dann von einer offenen Verlagerung der Aufmerksamkeit), aber sie kann auch ohne Augenbewegungen erfolgen (man spricht dann von einer verdeckten Verlagerung der Aufmerksamkeit). Die zu belegende Hypothese besagt nun, daß eine Verlagerung der Aufmerksamkeit auf zwei Weisen erfolgen kann, nämlich erstens automatisch und zweitens willentlich kontrolliert. Eine automatische Kontrolle der Aufmerksamkeit kann beispielsweise vorliegen, wenn ein auffälliger Reiz, idealerweise eine kontrastreiche Diskontinuität wie etwa ein kleiner schwarzer Balken auf einem weißen Hintergrund, innerhalb des Sehfeldes erscheint und reflexartig eine Aufmerksamkeitszuwendung auslöst. Bei einer willentlichen Verlagerung könnte die Person beispielsweise auf eine symbolische Aufforderung hin die Aufmerksamkeit verlagern, z.B. auf die sprachliche Mitteilung „Schau nach links“.

Das Kriterium der Intentionalität. Jonides (1981, Experiment 2) untersuchte inwieweit eine willentliche, nicht jedoch eine automatische Orientierung der Aufmerksamkeit, *willentlich unterdrückt* werden kann. Die Versuchspersonen sahen in jedem Durchgang des Experimentes acht Buchstaben, die in gleichem Abstand voneinander auf einer vorgestellten Kreislinie angeordnet waren, deren Durchmesser in einen visuellen Winkel von 7.5° lag (Anmerkung: ein Durchmesser von 7.5° visuellem Winkel entspricht 7.5 cm aus einer Entfernung von 57 cm betrachtet. Es ist häufig nützlich, die Größe von visuellen Reizen durch den visuellen Winkel auszudrücken, der sich aus der Größe des Objektes und der Entfernung zwischen Objekt und Auge des Betrachters ergibt, um nachvollziehen zu können, auf welchen Bereich der Netzhaut der Reiz abgebildet wird. Dies ist deshalb von Bedeutung, weil die Genauigkeit von visuellen Unterscheidungen in der *fovea centralis* am größten ist und zur Peripherie abnimmt). Die Versuchspersonen sollten mit einem Druck auf eine linke Taste antworten, wenn die Buchstabenanordnung ein L enthielt und die rechte Taste drücken, wenn die Buchstabenanordnung ein R enthielt. Die Buchstabenanordnung enthielt entweder genau ein L oder genau ein R. Die sieben übrigen Buchstaben waren andere Buchstaben des Alphabets. Der *Zielbuchstabe*, das heißt also derjenige Buchstabe, auf den zu antworten war (L bzw. R), erschien an allen acht Positionen mit der gleichen Wahrscheinlichkeit und seine Position war für die Versuchspersonen nicht vorhersagbar. Fünfzig Millisekunden

vor Darbietung der Buchstabenanordnung wurde ein Hinweisreiz gezeigt. Ein *zentraler* Hinweisreiz war eine Pfeilspitze, die in der Mitte des Kreises positioniert war und in die Richtung eines der acht Buchstaben zeigte. Ein *peripherer* Hinweisreiz war eine Pfeilspitze, die in unmittelbarer Nachbarschaft eines der acht Buchstaben gezeigt wurde. Hinweisreize werden als *valide* bezeichnet, wenn der Buchstabe, auf den sie weisen, der Zielbuchstabe ist. Sie werden dagegen als *nicht valide* bezeichnet, wenn sie auf einen anderen als den Zielbuchstaben weisen. Im Unterschied zu vielen anderen Experimenten mit validen und nicht validen Hinweisreizen hatten die Hinweisreize in diesem Experiment keinen prädiktiven Wert. Tatsächlich erschien nämlich der Zielbuchstabe nur in 12.5% der Durchgänge an der durch den Hinweisreiz bezeichneten Position; der durch den Hinweisreiz bezeichnete Ort und der Ort an dem der Zielreiz tatsächlich erschien waren also statistisch völlig unabhängig voneinander. Es gab zwei Instruktionsbedingungen. In der *Beachten* Bedingung wurde den Versuchspersonen mitgeteilt, die Validität des Hinweisreizes sei ziemlich gering, sie sollten jedoch stets den Hinweisreiz beachten, da sie dadurch im Durchschnitt bessere Ergebnisse erzielen würden. In der *Ignorieren* Bedingung wurden die Versuchspersonen angewiesen, die Hinweisreize zu ignorieren. Ihnen wurden die Daten eines anderen Experimentes vorgelegt um sie davon zu überzeugen, daß man an den Ergebnissen ersehen kann, ob Hinweisreize beachtet worden sind oder nicht. Auf diese Art sollte die Notwendigkeit, die Hinweisreize tatsächlich zu ignorieren, betont werden.

Die Ergebnisse zeigten, daß die Instruktionsbedingung ausschließlich einen Einfluß auf die Ergebnisse bei zentralen Hinweisreizen hatte, nicht jedoch auf die Ergebnisse bei peripheren Hinweisreizen. Waren die Versuchspersonen instruiert, die Hinweisreize zu beachten, waren die Reaktionszeiten bei validen zentralen Hinweisreizen im Mittel 71 ms kürzer als bei nicht validen zentralen Hinweisreizen. Waren die Versuchspersonen dagegen instruiert, die Hinweisreize zu ignorieren, gab es praktisch keinen Unterschied in Abhängigkeit von der Validität der zentralen Hinweisreize. Offenbar hängen Effekte von zentralen Hinweisreizen entscheidend davon ab, ob die Person *beabsichtigt* den Hinweisreiz zu verwenden oder nicht; nach dem Kriterium der Intentionalität ist der bei zentralen Hinweisreizen ausgeführte Prozeß offenbar willentlich kontrolliert.

Im Gegensatz dazu hatte die Instruktionsbedingung keinen Einfluß auf die Wirksamkeit des peripheren Hinweisreizes. Unabhängig davon, ob eine Verwendung der peripheren Hinweisreize von den Versuchspersonen beabsichtigt war oder nicht, waren die Reaktionszeiten bei validen Hinweisreizen ca. 100 ms kürzer als bei nicht validen Hinweisreizen. Ob die peripheren Hinweisreize einen Einfluß auf die Reaktionszeiten haben oder nicht hängt offenbar nicht davon ab, ob die Person den Hinweisreiz zu verwenden beabsichtigt oder nicht; nach dem Kriterium der Intentionalität ist der bei peripheren Hinweisreizen ausgeführte Prozeß offenbar nicht willentlich, sondern automatisch kontrolliert.

Das Kriterium der Interferenz. Das Kriterium der Interferenz besagt, daß ein automatischer Prozeß weder Interferenz verursacht noch erleidet. Jonides (1981, Experiment 1) untersuchte, inwieweit eine automatische und eine willentliche Verlagerung der Aufmerksamkeit Interferenz durch eine konkurrierende Gedächtnisaufgabe erleidet.

Periphere und zentrale Hinweisreize wurden in separaten Versuchsblöcken 90 ms vor einer kreisförmigen Anordnung von acht Buchstaben dargeboten, die 25 ms gezeigt wurde. In 70% der Versuchsdurchgänge wurde der Zielreiz an dem durch den Hinweisreiz angezeigten Ort dargeboten (valide Hinweisreize). In den übrigen 30% der Durchgänge wurde der Zielreiz an einem anderen als dem durch den Hinweisreiz bezeichneten Ort dargeboten (nicht valide Hinweisreize). Die Gedächtnisaufgabe bestand darin, sich 3, 5, oder 7 Ziffern zu merken. Vor jeden Versuchsdurchgang hatten die Versuchspersonen eine neue Folge von Ziffern zu lesen und sich einzuprägen. Anschließend bearbeiteten Sie die Reaktionszeitaufgabe, die sie zu einem selbst gewählten Zeitpunkt starteten. Nach der Reaktion sollten die eingepprägten Ziffern in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben werden.

Die hinter dieser Vorgehensweise stehende Hypothese war, daß für die Bearbeitung der Gedächtnisaufgabe – deren willentlicher und nicht-automatischer Charakter vorausgesetzt wird – Aufmerksamkeit notwendig ist, die eine begrenzte Ressource darstellt und daher nur eingeschränkt für die Nutzung des zentralen Hinweisreizes bereitstand. Diese Bindung von Aufmerksamkeit durch die Gedächtnisaufgabe ist dabei um so größer, je mehr Ziffern zu behalten sind. Aus diesem Grund sollte die Effizienz (Schnelligkeit, Genauigkeit) der Verarbeitung des zentralen Hinweisreizes um so geringer sein, je mehr Ziffern zu behalten sind. Automatische Prozesse erleiden dagegen kei-

ne Interferenz, wenn sie mit einer weiteren Aufgabe kombiniert werden; daher sollte die Anzahl von zu merkenden Ziffern keinen Einfluß auf die Effektivität der Verarbeitung des peripheren Hinweisreizes haben.

Die Ergebnisse entsprachen vollständig den Hypothesen. Tatsächlich war der Vorteil valider gegenüber nicht valider *zentraler* Hinweisreize um so geringer, je mehr Ziffern im Gedächtnis zu behalten waren. Während der Vorteil bei drei Ziffern etwa 230 ms betrug, gab es bei sieben Ziffern nur noch einen geringen Vorteil von etwa 50 ms. Offenbar gelang es den Versuchspersonen mit zunehmender Anzahl von Ziffern immer weniger gut, den zentralen Hinweisreiz für sich zu nutzen. Im Unterschied dazu hatte die Menge der zu merkenden Ziffern praktisch keinen Einfluß auf den stets etwa gleich stark ausgeprägten Vorteil valider vs. nicht valider *peripherer* Hinweisreize. Offenbar sind also nur Verlagerungen der Aufmerksamkeit aufgrund von peripheren, nicht jedoch aufgrund von zentralen Hinweisreizen unabhängig gegenüber Ressourcen-Beschränkungen und daher nicht anfällig gegen Interferenz durch konkurrierende Aufgaben.

Das Kriterium des Bewußtseins. Nach dem Kriterium des Bewußtseins ist für eine bewußt kontrollierte Verlagerung der Aufmerksamkeit eine bewußte Repräsentation des Reizes notwendig. Im Gegensatz dazu soll eine solche bewußte Repräsentation des Reizes für eine automatische Verlagerung der Aufmerksamkeit nicht notwendig sein.

Das Kriterium der Bewußtheit wurde von McCormick (1997) getestet. Seine Vorgehensweise beruht auf der Unterscheidung zwischen einer objektiven und einer subjektiven Wahrnehmungsschwelle, die von Cheesman und Merikle (1986) getroffen wurde. Angenommen, die Aufgabe der Versuchsperson besteht darin, zwischen einem X und einem O zu unterscheiden, die für verschiedene Zeitdauern dargeboten werden. Die *objektive* Wahrnehmungsschwelle ist definiert als diejenige Reizbedingung (in diesem Falle die Zeitdauer), unter der die Erkennungsleistung im Zwangswahlverfahren gerade auf Zufallsniveau abgesunken ist. Wenn also der Reiz entweder ein X oder ein O ist und die Versuchsperson in jedem Durchgang eine Alternative nennen muß, dann ist die objektive Wahrnehmungsschwelle an dem Punkt erreicht, an dem die Versuchsperson den tatsächlich gezeigten Reiz nur in 50% der Durchgänge zutreffend angeben kann. Demgegenüber ist die *subjektive* Wahrnehmungsschwelle als die Reizbedingung

definiert, unter der die Versuchsperson den Punkt maximaler subjektiver Unsicherheit über die Richtigkeit ihres Urteils erreicht hat. Die objektive Wahrnehmungsschwelle liegt üblicherweise unterhalb der subjektiven Wahrnehmungsschwelle, und der Bereich zwischen beiden Schwellen wird von Cheesman und Merikle als derjenige Bereich angesehen, in dem es zur sogenannten unterschwelligen Wahrnehmung kommen kann. Das Ziel von McCormick war es zu zeigen, daß eine automatische Aufmerksamkeitszuwendung, nicht jedoch eine willkürliche, auch dann erfolgt, wenn der periphere Hinweisreiz unterhalb der subjektiven Wahrnehmungsschwelle dargeboten wird.

Der Nachweis von Effekten nicht bewußt wahrgenommener Reize ist ein sehr schwieriges Unterfangen, und viele Ergebnisse, die mit diszipliniert und methodisch sauber ausgeführten Experimenten erzielt wurden, stützen den jeweils postulierten Effekt und können dennoch auch ohne das Postulat unbewußter Prozesse interpretiert werden. Das von McCormick gewählte Vorgehen ist jedoch äußerst raffiniert und entgeht den meisten der üblichen Kritikpunkte.

Im Gegensatz zu den Experimenten von Jonides (1981) verwendete McCormick nur eine Art von Hinweisreizen, nämlich nur periphere Hinweisreize. Der Hinweisreiz war stets ein kleiner Balken, der an einem von zwei möglichen Reizorten gezeigt wurde. In Experiment 1 der Arbeit von McCormick (1997), das im folgenden dargestellt wird, erschien der Zielreiz 0.5 s nach dem Hinweisreiz an einem der zwei Reizorte. Er erschien in 85% der Versuchsdurchgänge *nicht* an dem durch den Hinweisreiz bezeichneten Ort, seine Validität betrug also nur .15. Dies wurde den Versuchspersonen auch mitgeteilt, und sie wurden instruiert, die Aufmerksamkeit in jedem Versuchsdurchgang zu der wahrscheinlichen Reizposition zu verlagern. Automatische und willkürliche Aufmerksamkeitszuwendung standen also in *Opposition* zueinander: Die automatische Aufmerksamkeitszuwendung führt zunächst zu einer Verlagerung der Aufmerksamkeit zum Ort des Hinweisreizes, während die willentliche Aufmerksamkeitszuwendung anschließend zu einer Verlagerung der Aufmerksamkeit zu dem anderen Ort führt. Der zeitliche Abstand zwischen Hinweisreiz und Zielreiz von 0.5 s ist so gewählt, daß die Versuchsperson die beiden aufeinanderfolgenden Verlagerungen der Aufmerksamkeit ausführen kann, bevor der Zielreiz erscheint. Unter diesen zeitlichen Bedingungen sollte die Reaktion auf den Zielreiz daher schneller erfolgen, wenn der Zielreiz an dem erwarteten Ort (also an dem Ort, an dem der Hinweisreiz nicht war) erscheint. Diese Ab-

folge ist – nach dem Kriterium des Bewußtseins – allerdings nur zu erwarten, wenn der periphere Hinweisreiz bewußt wahrgenommen wird. Wird der periphere Hinweisreiz dagegen unter der subjektiven Wahrnehmungsschwelle dargeboten, sollte nach dem Kriterium der Bewußtheit die willkürliche Verlagerung der Aufmerksamkeit nicht mehr erfolgen können, sondern statt dessen einzig die unwillkürliche Verlagerung der Aufmerksamkeit. Entsprechend wurde erwartet, daß die Antwort auf Zielreize, die am Ort des Hinweisreizes erschienen, schneller erfolgen würde als wenn der Zielreiz am anderen Ort erschien. Mit anderen Worten, es wurde eine überkreuzte Interaktion der experimentellen Faktoren "Bewußtheit des Hinweisreizes" und "Ort des Hinweisreizes" erwartet.

Die Ergebnisse zeigten, daß das Kriterium des Bewußtseins für die automatische und die willentliche Verlagerung der Aufmerksamkeit gilt. Eine Darbietung des Reizes über der subjektiven Wahrnehmungsschwelle ist eine *notwendige* Bedingung dafür, daß die willkürliche Verlagerung der Aufmerksamkeit ausgeführt werden kann. Dagegen ist eine Darbietung des Reizes über der objektiven Wahrnehmungsschwelle *keine* notwendige Bedingung für automatische Verlagerung der Aufmerksamkeit.

Die Darstellung der zwei Experimente von Jonides (1981) sowie des Experimentes von McCormick (1997) sollte verdeutlichen, wie die drei Hauptkriterien einer Unterscheidung zwischen willkürlichen und automatischen Prozessen – Intentionalität, Interferenz und Bewußtheit – verwendet werden können, um mentale Prozesse zu untersuchen. Bevor nun einige Überlegungen zu einer möglichen Automatizität der Unterbrechungsfunktion der Überraschung dargestellt werden, sollen zunächst einige Kritikpunkte den dem "klassischem" Konzept der Automatizität, wie es etwa von Posner und Snyder (1975) vertreten wurde, diskutiert werden.

Die revidierte Sichtweise der Automatizität

Die Dichotomie einer automatischen und einer kontrollierten Verarbeitung als zwei Modi der Informationsverarbeitung wurde aus verschiedenen Gründen kritisiert. Die wichtigsten dieser Kritikpunkte werden im folgenden dargestellt. Nach der klassischen Zweiprozeß-Sichtweise (z.B. Posner & Snyder, 1975) ist Automatizität ein Konstrukt, das durch *konvergierende Operationen* definiert ist: (a) einen Modus der Verarbeitung: Automatische Prozesse laufen ohne Kapazität ab und interferieren nicht mit

anderen gleichzeitig ablaufenden Prozessen; (b) einen Modus der Kontrolle: Automatische Prozesse sind unter der Kontrolle des Reizes und nicht unter der Kontrolle von Intentionen (Strategien, Erwartungen, Pläne); (c) einen Modus der Repräsentation: Automatische Prozesse geben nicht notwendigerweise Anlaß zu bewußtem Gewahrsein (Neumann, 1984). Das zentrale Problem besteht darin, daß die konvergierenden Operationen offenbar nicht konvergieren (z.B. Bargh, 1992; Logan & Cowan, 1984; Neumann, 1984; Paap & Ogden, 1981). Mit anderen Worten: viele Prozesse erfüllen zwar einzelne, nicht jedoch alle drei primären Kriterien der Automatizität. So stellten beispielsweise Logan & Cowan (1984) fest, daß viele klassische Beispiele für Automatizität, wie etwa Gehen, Autofahren, Maschineschreiben oder Lesen, keineswegs unkontrollierbar sind, sondern ganz im Gegenteil einer engen intentionalen Kontrolle unterliegen. So zeigte etwa Logan (1982), daß die hochautomatisierte Fertigkeit des Maschineschreibens bei professionellen Schreibkräften insofern intentional kontrollierbar ist, als daß das Tippen eines jeden Wortes zu jedem beliebigen Zeitpunkt unterbrochen werden kann. Allenfalls bestimmte Morpheme, wie das im Englischen die Vergangenheitsform anzeigende Suffix -ed, zeigten eine Tendenz, zusammengeschrieben zu werden, als ob es eine "automatische" Tendenz zu ihrer Vervollständigung gäbe. Neumann (1984) nahm eine umfangreiche Begutachtung der empirischen Literatur zur Automatizität mit der Zielsetzung vor, festzustellen, ob die drei Kriterien der Bewußtheit, Intentionalität und Interferenz tatsächlich wichtige funktionale Eigenschaften mentaler Prozesse erfassen, und ob sie in der angenommenen Weise miteinander verknüpft sind. Seine Antwort ist im wesentlichen negativ und die wichtigsten Probleme sollen nachfolgend dargestellt werden.

Das *Interferenzkriterium* war ursprünglich mit der Annahme verknüpft, daß es eine zentrale Quelle der Interferenz gibt, nämlich Aufmerksamkeit. Wenn zwei Aufgaben gleichzeitig Aufmerksamkeit erfordern, so war die Annahme, wird die Qualität oder die Geschwindigkeit einer Aufgabe oder beider Aufgaben leiden, und diese Leistungsminderung wird als Interferenz bezeichnet. In den Jahren seit der Arbeit von Posner und Snyder (1975) stellte sich jedoch heraus, daß es nicht nur eine, sondern viele verschiedene Quellen von Interferenz gibt. Nach dieser neuen Sichtweise entsteht Interferenz dann, wenn zwei Aufgaben *überlappende funktionale Anforderungen* stellen. Diese neue Sichtweise ist insofern problematisch für das Interferenzkriterium, als daß ein ein-

zelter experimenteller Nachweis, daß zwei *bestimmte* Aufgaben zugleich ohne Interferenz ausgeführt werden können, nicht ohne weiteres auf andere Aufgabenpaare übertragbar ist. Vielmehr ermöglichen Doppel-Aufgaben-Experimente nur die Aussage, daß die konkret untersuchten zwei Aufgaben entweder auf weitgehend voneinander unabhängig arbeitende Ressourcen zugreifen, wenn sie nicht miteinander interferieren; oder daß die konkret untersuchten zwei Aufgaben zumindest teilweise auf die gleiche Ressource zugreifen, wenn sich eine Interferenz zeigt. Die darüber hinausgehende Erwartung, daß der mutmaßlich automatische Prozeß auch in Kombination mit *beliebigen* anderen Prozessen keine Interferenz zeigen würde, ist dagegen nicht gerechtfertigt. Dies bedeutet natürlich nicht, daß es nicht Prozesse geben könnte, die sich in Kombination mit ganz unterschiedlichen Prozessen als interferenzfrei erweisen. Neumann (1984) gibt allerdings an, daß nach seiner Kenntnis ein interferenzfreier Ablauf über alle Kombinationen von Aufgaben für keine Verarbeitungsstufe und keinen Prozeß nachgewiesen werden konnte.

Für das *Intentionalitätskriterium* unterscheidet Neumann zunächst (a) Prozesse, die ablaufen, wann immer die geeigneten Reizbedingungen vorliegen (für deren Auslösung eine Intention also nicht notwendig ist), (b) Prozesse, die sowohl von externalen Bedingungen (Reizen) und internalen Bedingungen (Zielen) abhängig sind, die jedoch von der Person nicht beabsichtigt sind, und (c) Prozesse, die zwar vom Bestehen einer Intention abhängig sind, bei denen die Person jedoch erfolglos zu verhindern versucht, daß ihre Ausführung mehr oder weniger vom intendierten Ziel abweicht, (d) Prozesse, deren Ablauf nicht willentlich verändert oder gestoppt werden kann, sobald sie einmal in Gang gesetzt wurden. Neumann stellt fest, daß diese verschiedenen Bedeutungen häufig nicht klar unterschieden werden und daß in der Folge experimentelle Befunde teilweise überinterpretiert wurden. Er demonstriert, daß ein Großteil der üblicherweise als automatisch bezeichneten Phänomene maßgeblich von der konkreten Aufgabenstellung – und dies impliziert: von der Versuchsperson zur Erfüllung der Aufgabe eingesetzten Strategie – abhängen. Als Beispiel kann der Stroop-Effekt dienen. Zwei Faktoren scheinen für das Zustandekommen des Stroop-Effektes besonders bedeutsam zu sein. Erstens scheint (räumliche) Aufmerksamkeit eine wichtige Bedingung zu sein: Der Effekt ist am stärksten, wenn das Wort farbig gedruckt ist, nimmt bereits stark ab, wenn die Farbe eine Eigenschaft eines vom Wort unterschiedlichen Objektes ist (beispiels-

weise ein farbiges Feld, daß unterhalb des Wortes dargestellt ist), und kann weiter bis zum völligen Verschwinden reduziert werden, wenn diese beiden Objekte räumlich voneinander entfernt werden. Zweitens hängt die Interferenz entscheidend davon ab, ob der ablenkende Reiz (z.B. die Druckfarbe beim Stroop-Effekt) eine Beziehung zur momentanen Aufgabe der Versuchsperson aufweist. Dies ist beim Stroop-Effekt offensichtlich der Fall: die Versuchspersonen sollen ja eine Farbe nennen, und das Farbwort bezeichnet eine Farbe.

Ein weiterer häufig nicht berücksichtigter Aspekt ist die Unterscheidung zwischen *explizit* intendierten und *implizit* intendierten Vorgängen. Offensichtlich sind untergeordnete Details von geübten Fertigkeiten nicht Teil der bewußten Intention ihrer Ausführung. Beispielsweise ist die Absicht, als 14ten Buchstaben des Wortes „beispielsweise“ ein „e“ zu schreiben für einen geübten Schreiber nicht Teil der bewußten Intention. Trotzdem ist die Aussage unsinnig, die Person habe diesen Buchstaben unabsichtlich geschrieben. Vielmehr ist das Schreiben dieses Buchstaben implizit in der expliziten Absicht enthalten, das Wort "beispielsweise" zu schreiben (oder, was viel wahrscheinlicher ist, einen Satz zu schreiben, der einen bestimmten Inhalt ausdrückt, und der unter anderem das Wort "beispielsweise" beinhaltet). Neumann führt aus, daß möglicherweise auch einige bekannte Phänomene der Leitungsbahnaktivierung aus solchen implizit intendierten Prozessen resultieren. Viele Experimente zur Leitungsbahnaktivierung benutzen verbales Material, und es steht zu vermuten, daß die Versuchspersonen zur Ausführung der ihnen gestellten Aufgabe allgemeine linguistische Fertigkeiten verwenden. Diese dienen jedoch im allgemeinen dazu, Wörter mit ihren Bedeutungen zu verknüpfen. Es ist daher zu fragen, ob viele Ergebnisse zum semantischen Priming zwar nicht explizit von der Person beabsichtigt waren, aber doch implizit durch die willentliche Befolgung der Instruktion erzeugt werden. Es ist weiterhin möglich, daß es sich bei vielen Priming-Effekten letztlich um Handlungsfehler handelt, wobei die intendierte Handlung am falschen Objekt ausgeführt wird (siehe auch Norman, 1981). So sind in vielen Experimenten zum Priming sowohl die Primes als auch die Zielreize Wörter und nur durch den Zeitpunkt ihrer Darbietung in einem Durchgang unterscheidbar. Aus diesem Grund erfüllt bereits der Prime einen Teil der Ausführungsbedingungen (er ist ein Wort) für die intendierte Handlung (das Zielwort zu benennen) und wird möglicherweise deshalb verarbeitet.

Für eine Bewertung des *Kriteriums der Bewußtheit* unterscheidet Neumann drei Arten von Nichtbewußtheit. Zum einen können Hirnprozesse ohne direkten Bezug zur aktuellen Handlung nichtbewußt sein, beispielsweise die Prozesse, die dem Vergessen zugrunde liegen. Zweitens sind viele Prozesse innerhalb einer Handlung nichtbewußt, und möglicherweise ist die bewußte Repräsentation eines Reizes für die Auswahl und Ausführung einfacher Handlungen nicht notwendig (vorausgesetzt, eine Intention liegt vor). Weiterhin sind viele kognitive Prozesse selbst nicht bewußt. Dies kann auch introspektiv erschlossen werden, wie beim Phänomen des Auf-der-Zunge-liegens, das bei einem zunächst vergeblichen Abruf eines Wortes aus dem Gedächtnis entstehen kann (siehe etwa Mandler, 1992a). Die Zeit des Wartens ist dabei nicht von einer bewußten Repräsentation des ablaufenden Suchprozesses begleitet. Beispiele für die Verzichtbarkeit einer bewußten Repräsentation für die Auswahl einer einfachen Handlung sind solche Experimente, in denen die bewußte Repräsentation eines visuellen Reizes mittels einer Maskierung durch einen weiteren visuellen Reiz verhindert wird, die Reaktionszeiten jedoch in hohem Maße nahelegen, daß auf diesen Reiz reagiert wurde (z.B. Fehrer & Biederman, 1962; Fehrer & Raab, 1962). Am wenigsten klar ist der Status von nichtbewußt ausgeführten Handlungen. Während die alltägliche Erfahrung wie auch anekdotische Hinweise ein eher häufiges Vorkommen nicht bewußt ausgeführter Handlungen nahelegen (z.B. Norman, 1981), ist das Phänomen im Labor offenbar nicht leicht überzeugend zu demonstrieren.

Die oben getroffene Dreiteilung wird nach Neumann (1984) durch bestimmte Muster bei den Kriterien der Intentionalität und der Interferenz gestützt. Eine handverlesene Anzahl von Prozessen, darunter die frühe Merkmalsanalyse oder die Kontrolle von Körperfunktionen, läuft ohne jede Beeinflußbarkeit durch die Intentionen der Person ab, ohne mit anderen kognitiven Prozessen zu interferieren, und ohne eine Spur im Bewußtsein zu hinterlassen. Prozesse, die Teil einer Handlung sind und keine bewußte Repräsentation erfahren, hängen von Intentionen ab, wenn sie auch in der Regel nicht explizit intendiert sind. Beispiele hierfür sind die Fingerbewegungen beim geübten Maschineschreiben, die Generierung von Annahmen über linguistische (d.h. syntaktische, morphologische, phonologische oder semantische) Eigenschaften noch nicht verarbeiteter Wörter und Satzteile beim geübten Lesen, oder Suchprozesse im Gedächtnis, wie sie etwa beim Phänomen des Auf-der-Zunge-liegens erfahrbar werden. Die dritte Katego-

rie, nämlich Handlungen die in ihrer Gesamtheit ohne Bewußtsein ablaufen, müssen die gleichen Anforderungen erfüllen wie zwei simultan bearbeitete Aufgaben, wenn diese interferenzfrei ablaufen sollen: Es muß sich bei einer von den Aufgaben um eine hoch geübte Fertigkeit handeln, die Information für eine kontinuierliche Steuerung der Fertigkeit muß verfügbar sein, und diese Information darf nicht mit anderen Reizen derart gemischt sein, so daß eine Auswahl erfolgen muß. Alltägliche Beispiele hierfür sind Gehen, Ankleiden sowie Tätigkeiten des „tracking“ (Nachfolgen) Typus, wie etwa das Steuern eines Autos auf einer leeren Autobahn.

Neumann zieht aus seiner Analyse die Schlußfolgerung, daß automatische Prozesse, die alle drei Kriterien der Intentionalität, der Interferenz und des Bewußtseins erfüllen, existieren (Merkmalsanalyse, Kontrolle der Körperfunktionen), daß jedoch der Großteil der als automatisch angesehenen Prozesse für ihren Beginn das Vorliegen einer Intention erfordert, und daß diese Prozesse unter bestimmten Bedingungen mit anderen Prozessen interferieren können. Er schließt seine Analyse automatischer Prozesse mit einer Definition, die die ursprünglichen Kriterien der Intentionalität, der Interferenz und der Bewußtheit nicht mehr beinhaltet: Ein Prozeß ist automatisch, wenn die Parameter des Prozesses durch eine Fertigkeit auf Grundlage der Reizinformation spezifiziert werden. Parameter sind solche (variablen) Größen, die zur Ausführung der Handlung notwendig sind. Um beispielsweise auf einen Gegenstand zu zeigen, sind die räumliche Position der Hand und die räumliche Position des Gegenstandes zu spezifizieren. Fertigkeiten sind Prozeduren, die erstens einen Teil der zu spezifizierenden Handlungsparameter abgespeichert haben, und zweitens Schemata bereitstellen, wie noch freie oder sich während der Ausführung der Handlung verändernde Handlungsparameter aufgenommen und spezifiziert werden können.

Automatische Prozesse sind also solche, deren Ablaufparameter entweder festgelegt sind oder vom Prozeß selbständig während des Ablaufs in Abhängigkeit von den Reizbedingungen festgelegt werden können. Diese Definition verzichtet nicht nur vollständig auf die Kriterien der Bewußtheit und der Interferenz, sondern schränkt auch das Kriterium der Intentionalität gegenüber der ursprünglichen Definition von Posner und Snyder stark ein. Völlig aus der Definition verschwunden ist nämlich die Aussage, daß für die *Auslösung* eines automatischen Prozesses keine Intention notwendig ist. Wie bereits ausgeführt nimmt Neumann im Gegensatz dazu ja gerade an, daß für die Mehr-

zahl von automatischen Prozessen eine Intention notwendig ist. Kennzeichnend für automatische Prozesse ist dagegen der Modus der Kontrolle des *Ablaufs* des Prozesses. Willentlich kontrollierte Prozesse erfordern immer wieder eine bewußte Festlegung von Parametern während des Ablaufs des Prozesses. Demgegenüber können automatisch kontrollierte Prozesse Parameter selbständig spezifizieren, und laufen somit bis zu ihrem Ende ohne Notwendigkeit einer weiteren Kontrolle ab.

Zusammengefaßt führte Neumann eine umfassende Analyse des Konzeptes der Automatizität sowie der bis dahin verfügbaren empirischen Evidenz durch. Er kritisiert, daß nur wenige Prozesse alle drei Hauptkriterien für einen automatischen Prozeß erfüllen, wogegen die meisten der allgemein als automatisch angesehenen Prozesse eines oder mehrere dieser Kriterien nicht erfüllen. Es fällt allerdings auf, daß die allgemein als automatisch angesehenen Prozesse, bei denen die drei primären Kriterien nicht konvergieren, überwiegend *erworbene* Fertigkeiten sind, bei denen vormals willentlich gesteuerte Abläufe durch fortgesetzte Übung zunehmend automatisiert worden sind, z.B. beim Gehen, Maschineschreiben, Autofahren oder Lesen. Dagegen beruhen solche Prozesse, deren Automatizität im Sinne aller drei Hauptkriterien auch von Neumann für wahrscheinlich gehalten wird, auf vermutlich *angeborenen* Mechanismen, z.B. die Merkmalsanalyse oder die Steuerung der Körperfunktionen. Es ist daher möglich, daß die Kritik der fehlenden Konvergenz der Automatizitätskriterien möglicherweise für letztere Prozesse gar nicht zutrifft; dies ist für das Thema der vorliegenden Arbeit insofern bedeutsam, als daß mit der Überraschungsreaktion ein Prozeß untersucht wird, von dem ebenfalls angenommen wird, daß er zur angeborenen Ausstattung des Menschen gehört. Weitere Kritikpunkte betreffen insbesondere die gelegentliche Überinterpretation experimenteller Befunde zum Interferenz- und Intentionalitätskriterium. Diese Kritikpunkte geben wichtige Hinweise auf mögliche Fehlinterpretationen des Konzeptes von Automatizität und nehmen in vielen Punkten die später von John Bargh geäußerte Kritik, die nachfolgend dargestellt wird, voraus.

Bargh (1989, 1992, 1994) kommt zum im Kern gleichen Ergebnis wie Neumann (1984): Die Merkmale der Automatizität hängen nicht in der Weise zusammen, wie dies aufgrund der „monolithischen“ Sichtweise der Zweiprozeß-Theorie zu erwarten wäre. Für die Mehrzahl der unter dem Begriff der Automatizität abgehandelten Prozesse gilt im Gegensatz dazu, daß sie offenbar nicht zugleich alle von der Zweiprozeß-Theorie

propagierten Kriterien erfüllen. Ebenso wie Neumann hält es auch Bargh für falsch, hieraus den Schluß ziehen zu wollen, diese Prozesse dürften dann eben nicht als automatisch bezeichnet werden; vielmehr sollte sich eine Automatizitätstheorie nicht zuletzt auf Phänomene beziehen, die allgemein als automatisch angesehen werden. Während Neumann dies jedoch zum Anlaß nehmen möchte, die drei offenbar unzureichenden Kriterien zugunsten einer neuen Definition aufzugeben, zieht Bargh eine gänzlich andere Schlußfolgerung, nämlich daß jedes von folgenden vier Kriterien für Automatizität einen Bedeutungsbestandteil des Konzeptes der Automatizität erfaßt (a) aufmerksamkeitsbindend vs. hoch effektiv (ob Aufmerksamkeit für den Ablauf notwendig ist), (b) bewußt vs. nicht bewußt (ob das Individuum Kenntnis über den Ablauf des Prozesses hat), (c) intentional vs. nicht intentional (ob eine Absicht für den Beginn des Prozesses notwendig ist), und (d) kontrollierbar vs. nicht kontrollierbar (ob der Prozeß in seinem Ablauf durch bewußte Intentionen beeinflusst werden kann). Die Kriterien entsprechen offenbar denen von Posner und Snyder (1975), wobei das ursprüngliche Intentionalitätskriterium durch das Kriterium der Kontrollierbarkeit ergänzt ist.

Wenn nun aber alle diese vier Kriterien Bedeutungsbestandteile des Begriffes Automatizität darstellen und diese gleichzeitig nicht notwendigerweise miteinander kovariieren, dann können entsprechend aus dem Wissen über die Erfüllung eines Kriteriums keine Vorhersagen über die Erfüllung eines anderen Kriteriums abgeleitet werden. Offenbar sind die Kriterien der Automatizität also nicht definierende, sondern nur charakteristische Merkmale des Begriffs. Als definierendes Merkmal automatischer Prozesse schlägt Bargh auf Grundlage eines Vergleichs verschiedenster, in der Literatur auffindbarer, automatischer Prozesse *Autonomie* bzw. *Ballistizität*² vor: daß ein automatischer Prozeß, sobald er einmal gestartet ist, ohne die Erfordernis einer bewußten Lenkung bis zu seinem Abschluß abläuft. Dieser Vorschlag ist in zweifacher Hinsicht bemerkenswert. Erstens besagt diese Definition eigentlich das gleiche wie die von Posner und Snyder (1975) getroffene Unterscheidung zwischen automatisch und bewußt kontrollierten (gelenkten) Prozessen: ein Prozeß läuft entweder ohne oder mit bewußter Lenkung ab. Es handelt sich daher bei dem Vorschlag von Bargh offenbar mindestens

² Die zwei Begriffe sind nicht synonym: während ein ballistischer Prozeß ein solcher ist, dessen Parameter *vor seinem* Ablauf festgelegt werden, ist ein autonomer Prozeß ein solcher, der *selbst während* seines Ablaufs für die Festlegung seiner Parameter sorgt.

ebenso sehr um eine Rückbesinnung auf das ursprünglich mit „automatisch“ gemeinte und eine Explikation dieses Begriffes wie um eine empirische Generalisierung. Zweitens deckt sich die Ansicht von Bargh, das wesentliche Merkmal automatischer Prozesse sei der Mangel einer Erfordernis, intentionale Kontrolle auszuüben, interessanterweise mit den Schlußfolgerungen Neumanns, daß automatische Prozesse die für ihren Ablauf notwendigen Parameter selbst festlegen.

Den Kriterien der Automatizität soll nun die Rolle zukommen, einen als autonom identifizierten Prozeß weiter zu klassifizieren. Hierbei soll an die Stelle der aufgrund der Zweiprozeß - Theorie bedauerlicherweise verbreiteten Praxis, ein Kriterium zu testen, und anschließend auf das Zutreffen auch der übrigen Kriterien zu schließen, eine Praxis treten, jeweils explizit anzugeben, in welchem Sinne ein Prozeß automatisch ist. Insbesondere schlägt Bargh (1989, 1992) das Forschungsprogramm der *konditionalen Automatizität* vor. Die zugrundeliegende Idee ist, daß sich die Vielfalt automatischer Prozesse anhand ihrer Auslösebedingungen klassifizieren und ordnen läßt: (a) ob die Auslösung des Prozesses mehr als nur ein Minimum an Aufmerksamkeit erfordert, (b) ob der Prozeß eine bewußte Intention für seine Auslösung erfordert, (c) ob das Individuum bewußt Kenntnis von seinem Ablauf hat (d) und ob das Individuum Kontrolle ausüben kann.

Bargh (1992) argumentiert, daß eine solche Vorgehensweise, bei der ein automatischer Prozeß anhand seiner Auslösebedingungen beschrieben wird, aus verschiedenen Gründen sinnvoll ist, vor allem aber, weil hiermit die Ökologie des automatischen Prozesses charakterisiert werden kann: Zu wissen, welche hinreichenden und notwendigen Bedingungen ein automatischer Prozeß für seinen Ablauf hat, bedeutet psychologische Erkenntnis korrekt vom Labor auf den Alltag übertragen zu können. Würde sich beispielsweise herausstellen, daß eine semantische Verarbeitung unschwellig dargebotener Wörter stets eine Absicht voraussetzt, verbale Reize zu verarbeiten, würde man kaum Effekte der unschwelligen Darbietung von „Trink Coca-Cola“ und „Iß Popcorn“ erwarten, wenn diese Aufforderungen während des eigentlichen Kinofilms gezeigt werden. Würden dagegen diese Aufforderungen im Vorspann jeweils kurz vor den Namen der Hauptdarsteller dargeboten, würde man eine semantische Verarbeitung der Wörter für möglich halten.

Als Abschluß dieses Abschnitts zur Automatizität sollen nun die von Neumann und Bargh vorgebrachten Kritikpunkte zusammenfassend betrachtet und einige Schlußfolgerungen und weiterführende Überlegungen dargestellt werden. Neumann und Bargh kommen übereinstimmend zu der Feststellung, daß Autonomie ein Kernmerkmal automatischer Prozesse ist. Autonomie bedeutet allgemein das Fehlen einer externen (d.h. außerhalb des autonomen Vorgangs liegenden) Steuerung und bezogen auf automatische mentale Prozesse das Fehlen einer willentlichen und bewußten Kontrolle oder Lenkung. Im folgenden soll – in der Absicht, zur Klärung der verwendeten Begriffe beizutragen – zunächst der Bezug zwischen Autonomie und dem Intentionalitätskriterium etwas genauer analysiert werden. Anschließend soll der Frage nachgegangen werden, ob und unter welchen Umständen eine Untersuchung des Interferenzkriteriums sinnvoll ist.

Zunächst also zum Bezug zwischen Autonomie und dem Intentionalitätskriterium. Es kann eine starke von einer schwachen Form des Intentionalitätskriteriums unterschieden werden. Bei der schwachen Form ist eine explizite Intention *nicht notwendig*, was – wie Bargh und Neumann mit Nachdruck argumentiert haben – nicht bedeutet, daß das Vorliegen einer bestimmten Stimulation allein hinreichend für den automatischen Prozeß ist; offensichtlich müssen sehr häufig sowohl extraorganismische Bedingungen (bestimmte Reize) und intraorganismische Bedingungen (z.B. bestimmte Ziele) vorhanden sein, damit der automatische Prozeß abläuft. Demnach ist ein Prozeß automatisch im Sinne des schwachen Intentionalitätskriteriums, wenn keine bewußte explizite Intention vorzuliegen braucht, damit der betreffende Prozeß abläuft. Bei der starken Form des Interferenzkriteriums ist eine bewußte Intention darüber hinausgehend zudem *nicht hinreichend* um entweder den Beginn oder den Ablauf eines automatischen Prozesses zu verändern. Ein solcher Prozeß liefere nicht einfach nur trotz Abwesenheit einer bewußten Absicht ab (unabsichtlich), sondern gegebenenfalls auch im Widerspruch zu einer bewußten Absicht (kontraabsichtlich). Weiterhin scheint es äußerst sinnvoll zu sein, zu bestimmen, was genau intentional kontrolliert wird oder nicht: die Initiierung oder der Ablauf des Prozesses (siehe auch Norman & Shallice, 1986). Einerseits lassen sich Beispiele für automatische Prozesse finden, deren *Initiierung* unbeabsichtigt oder kontraabsichtlich erfolgt. Ein Beispiel für einen Prozeß mit unabsichtlicher Initiierung ist etwa die visuelle Merkmalsanalyse: so wurden die klassischen neurophysiologischen

Tabelle 1

Varianten von Autonomie und Unkontrollierbarkeit kognitiver Prozesse

	Fokus auf den <i>Start</i> des Prozesses	Fokus auf den <i>Ablauf</i> des Prozesses
Intention nicht <i>notwendig</i>	unabsichtlich	autonom
Intention nicht <i>hinreichend</i>	unvermeidbar	unkontrollierbar

Experimente zur Merkmalsanalyse von David Hubel und Torsten Wiesel mit *narkotisierten* Katzen durchgeführt (siehe Crick, 1994); eine Narkose dürfte wohl eine Manipulation darstellen, die bezüglich der Sicherheit, mit der man die Anwesenheit einer bewußten Intention bei einem lebenden Tier ausschließen kann, kaum zu übertreffen ist. Andererseits gilt dies offensichtlich nicht für einige klassische Beispiele für Automatisität, wie Maschineschreiben oder Autofahren. Um Bargh (1992) zu paraphrasieren, wenn sich ein geübter Maschineschreiber an eine Tastatur setzt, fängt er nicht automatisch an zu schreiben. Dem Schreiben eines Satzes wie diesem gehen durchaus bewußte Intentionen voraus, eine möglicherweise schon zeitlich weiter zurückliegende Intention, über etwas bestimmtes zu schreiben, und eine aktuelle Intention, eben genau diesen Satz zu schreiben. Bei einem geübten Maschineschreiber, bei dem diese Tätigkeit weitgehend automatisiert ist, steuern bewußte Intentionen jedoch nicht den *Ablauf* der einzelnen Tastenanschläge. Dies ist bei einem Anfänger anders: dieser muß sich jeden einzelnen Buchstaben auf der Tastatur suchen.

Man kann also einerseits zwischen einer schwachen und einer starken Form des Intentionalitätskriteriums unterscheiden, und andererseits, ob auf die Auslösung oder den Ablauf des automatischen Prozesses bezug genommen wird (siehe Tabelle 1). Ein automatischer Prozeß kann *unabsichtlich* gestartet werden oder sein Start kann *unvermeidbar* sein, und sein Ablauf kann ohne Notwendigkeit weiterer bewußter Absichten gesteuert werden, d.h. also *autonom*, sein oder sogar entgegen einer Absicht in einer bestimmten Weise ablaufen, d.h. *unkontrollierbar* sein. Die Merkmale der Autonomie (Neumann, Bargh) sowie der (Un-)Kontrollierbarkeit (Bargh) decken also jeweils nur einen Quadranten eines Vier-Felder-Schemas ab.

Nach diesen Überlegungen zum Bezug zwischen dem Intentionalitätskriterium und dem Merkmal der Autonomie soll nun diskutiert werden, ob und gegebenenfalls unter welchen Bedingungen die Untersuchung eines mutmaßlich automatischen Prozesses bezüglich des Interferenzkriteriums sinnvoll ist. Wie vorauslaufend ausgeführt wurde, kritisierte Neumann (1984) das Interferenzkriterium dahingehend, daß der experimentelle Befund eines interferenzfreien Ablaufs zweier gleichzeitig ablaufender Prozesse nur zeige, daß die funktionalen Erfordernisse *dieser* zwei Prozesse keine Überlappung aufweisen. Darüber hinausgehende Aussagen über eine prinzipielle Interferenzlosigkeit eines Prozesses in Kombination mit *beliebigen* anderen Prozessen sind dagegen nicht ableitbar. Dieser Einwand muß jedoch nicht notwendigerweise zum Anlaß genommen werden, auf einen Test des Interferenzkriteriums vollständig zu verzichten. Ein Test des Interferenzkriteriums kann nämlich erstens dann sinnvoll sein, wenn zwei Prozesse mit analoger Funktion verglichen werden können, von denen der eine mit hoher Sicherheit ein willentlich kontrollierter Prozeß ist und der andere ein Prozeß ist, dessen Automatizität überprüft werden soll. Es sei hier an das vorauslaufend dargestellte Experiment von Jonides (1981) erinnert: Hätte Jonides ausschließlich periphere Hinweisreize verwendet, hätte das Ergebnis einer fehlenden Interferenz offenbar nur dahingehend interpretiert werden dürfen, daß die Aufgabe einer Orientierung der Aufmerksamkeit auf einen peripheren Hinweisreiz und die verwendete Merkaufgabe offenbar keine überlappenden Anforderungen stellen. Tatsächlich verglich Jonides jedoch die Stärke der durch die Merkaufgabe hervorgerufenen Interferenz bei den peripheren Hinweisreizen mit der Interferenz bei zentralen Hinweisreizen, bei denen die Leistung durchaus in Abhängigkeit von der Schwierigkeit der Merkaufgabe variierte. Ein derartig angelegtes Experiment läßt eine weitaus interessantere Schlußfolgerung zu: Offenbar wird eine durch zentrale vs. periphere Hinweisreize hervorgerufene Orientierung der Aufmerksamkeit durch unterschiedliche Mechanismen vermittelt (denn die funktionalen Erfordernisse der zentralen Orientierung, nicht jedoch der peripheren Orientierung, weisen eine Überlappung mit den funktionalen Erfordernissen der Merkaufgabe auf). Im Hinblick auf diese funktionale Überlappung ist die Orientierung auf einen peripheren Hinweisreiz offenbar gemäß des Interferenzkriteriums automatisch und die Orientierung auf einen zentralen Hinweisreiz willentlich kontrolliert. Allerdings ist auch hier vor einer Überinterpretation zu warnen, denn es wäre natürlich denkbar, daß eine andere Zusatz-

aufgabe das entgegengesetzte Ergebnismuster erzeugte (nur die Orientierung auf periphere Hinweisreize erleidet Interferenz, nicht aber die Orientierung auf zentrale Hinweisreize).

Ein Test des Interferenzkriteriums ist also offenbar nur unter Bezugnahme auf eine bestimmte Aufgabe oder Anforderung möglich: die Orientierung auf zentrale, aber nicht auf periphere Hinweisreize erleidet Interferenz durch Anforderungen der Merkaufgabe. Die Aufgabe, die für einen Test des Interferenzkriteriums verwendet wird, sollte daher mit Bedacht und mit einer theoretischen Begründung ausgewählt werden. Dies führt zu der zweiten Bedingung für eine sinnvolle Anwendung des Interferenzkriteriums, die Neumanns Kritik berücksichtigt. Diese Kritik beruht ja vor allem auf der Auffassung, daß Interferenz an verschiedenen Stellen innerhalb der fortschreitenden Verarbeitung eines Reizes entstehen kann. Interferenz kann auf der *sensorischen* Stufe entstehen, wie wenn etwa bei der visuellen (Rückwärts-)Maskierung der zweite von zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Reizen die Repräsentation des ersten Reizes auslöscht. Interferenz kann einen *zentralen* Prozeß betreffen, so wie es etwa schwierig sein kann, gleichzeitig eine komplexe Verkehrssituation zu meistern und eine schwierige Unterhaltung zu führen, oder gleichzeitig zwei Gesprächen zuzuhören (Moray, 1959). Ferner gibt es *Output-Interferenz*, weil beispielsweise für die Steuerung von zwei unabhängig voneinander ausgeführte Bewegungen mit dem linken und dem rechten Arm eine unterschiedliche zeitliche Strukturierung erforderlich ist (Klapp, 1979). Wie Neumann (1984) bemerkt, findet man praktisch keine Aufgabe, die nicht in Kombination mit *irgendeiner* anderen Aufgabe Interferenz erzeugt oder erleidet. Dies hat – nebenbei gesagt – unter anderem die Ursache, daß die wenigsten Aufgaben nur einen einzigen homogenen Prozeß umfassen (Shiffrin & Schneider, 1977).

Eine sinnvolle Anwendung des Interferenzkriteriums erfordert daher eine Annahme über die *Art* der zu erwartenden Interferenz. Hierbei sollte die Interferenz auf ein für willentlich kontrollierte Prozesse *im allgemeinen* charakteristisches funktionales Merkmal zurückgehen. Idealerweise würde man unter Anwendung des *modus tollens* folgende Schlußfolgerung ziehen können: (a) Wenn *a* ein willentlich kontrollierter Prozeß ist, dann leidet er unter der Interferenz *i*; (b) *a* leidet nicht unter der Interferenz *i*; (c) daher ist *a* kein willentlich kontrollierter Prozeß. Allerdings wird man wohl in aller Re-

gel nur eine unsicherere Wahrscheinlichkeits- oder Plausibilitätsannahme treffen können.

Wie bereits ausgeführt, scheint ein für willentlich kontrollierte Prozesse im allgemeinen charakteristisches Merkmal die bewußte Auswahl einer Handlungsoption zu sein; Interferenz im Zusammenhang mit der Auswahl einer Handlungsoption scheint daher ein geeigneter Kandidat für eine sinnvolle Anwendung des Interferenzkriteriums zu sein. So kommen sowohl Neumann als auch Bargh nach ihrer jeweiligen Bestandsaufnahme zu einer Definition von automatischen Prozessen, die die Antwortwahl zu einem zentralen Aspekt der Unterscheidung zwischen willentlich und automatisch kontrollierten Prozessen macht. Neumann hält solche Prozesse für automatisch, deren Parameter durch eine Fertigkeit in Verbindung mit der Reizinformation festgelegt werden. Die Festlegung von Parametern bedeutet hierbei inhaltlich nichts anderes als die Auswahl einer Antwortoption. Bargh stellt Autonomie als Kernmerkmal automatischer Prozesse fest. Auch Autonomie im angegebenen Sinne eines Ablaufs ohne bewußte Lenkung verweist auf die Antwortauswahl, denn die Lenkung oder Steuerung eines Prozesses umfaßt primär Wahlen über den weiteren Verlauf des Prozesses (vgl. auch Schmidt, 1991).

Auch einige klassische Versuche können als Beleg herangezogen werden, daß es gerade diese theoretisch zentrale Eigenschaft von willentlich kontrollierten Prozessen ist, die sehr interferenzanfällig ist. So ist seit der Arbeit von Merkel (1885, zitiert nach Woodworth & Schlosberg, 1954) bekannt, daß die Reaktionszeit mit der Anzahl der durch die Instruktion definierten möglichen Antwortoptionen zunimmt. Die Antwortwahl im Reaktionszeitversuch ist also dabei um so zeitaufwendiger, je zahlreicher die Antworten sind, unter denen zu wählen ist. Wenn die Ausführung einer Aufgabe häufig wiederholt und zunehmend automatisiert wird, kann dieser Effekt offenbar zum Verschwinden gebracht werden (Mowbray & Rhoades, 1959). Der zuvor bereits erläuterte PRP Effekt wird ebenfalls auf die Eigenart der willentlichen Antwortwahl zurückgeführt, abhängig von der exklusiven (oder nahezu exklusiven) Nutzung einer zentralen Verarbeitungsstufe zu sein (Pashler, 1994; Welford, 1980).

Im hiermit abzuschließenden Abschnitt über die revidierte Sichtweise der Automatizität wurden neuere und vor allem auch kritische Überlegungen zum Konzept der Automatizität dargestellt und diskutiert. Hierbei sind insbesondere die in Bezug auf das

Interferenzkriterium getroffenen Überlegungen im weiteren Verlauf der Arbeit von Bedeutung, denn in der vorliegenden Arbeit soll unter anderem experimentell untersucht werden, ob die Unterbrechungsfunktion der Überraschung automatisch im Sinne des Interferenzkriteriums ist. Aufgrund der vorauslaufend ausgeführten Überlegungen ist dabei klar, daß nicht die *allgemeine* Interferenzfreiheit von Überraschung getestet werden soll, sondern die Unempfindlichkeit gegenüber einer *bestimmten* Form von Interferenz, die für willentliche Prozesse besonders charakteristisch ist, nämlich der Interferenz, die durch die Auswahl einer Antwort erzeugt wird. Darüber hinaus wird – ähnlich wie bei Jonides (1981) – eine (mutmaßlich) automatische Unterbrechung *und* eine willentliche Unterbrechung untersucht.

Automatizität von Überraschung

Automatizität der Unterbrechungsfunktion

In den ersten Abschnitten dieser Arbeit wurde die Annahme vorgestellt, daß die Überraschungsreaktion eine Unterbrechungsfunktion beinhaltet, die – gemeinsam mit einer Verlagerung der Aufmerksamkeit und der Erzeugung des Überraschungsgefühls – automatisch bei Vorhandensein einer überschwelligen Schemadiskrepanz ausgeführt wird. Es wurden weiterhin drei Dimensionen für eine Unterscheidung zwischen automatischen und willkürlichen Prozessen dargestellt: (1) dem Operationsmodus (interferierende vs. interferenzfreie Verarbeitung), (2) dem Kontrollmodus (willentlich kontrolliert vs. autonom) und (3) dem Modus der Repräsentation (bewußt vs. unbewußt). Hierbei wurde herausgestellt, daß die für automatische Prozesse bzw. willentliche Prozesse kennzeichnenden Ausprägungen auf den Dimensionen nicht notwendigerweise gemeinsam auftreten und daß daher stets eine Angabe darüber erforderlich ist, im Sinne welcher Dimension ein Prozeß automatisch ist. In diesem Abschnitt sollen einige Überlegungen zu der Frage angestellt werden, inwieweit die Kriterien der Automatizität auf die Unterbrechungsfunktion zutreffen könnten.

Mit der im kognitiv-evolutionären Modell der Überraschung enthaltenen Annahme, daß die Unterbrechungsfunktion die *obligatorische* Folge einer überschwelligen Schemadiskrepanz ist, werden zwei Aspekte des Intentionalitätskriteriums angesprochen, nämlich die Unabsichtlichkeit und die Unvermeidbarkeit der Auslösung der Unterbrechung. *Unabsichtlichkeit* der Auslösung meint, daß nicht eine bewußte Intention,

sondern eine bestimmte Stimulation (nämlich der Information über das Vorliegen einer Schemadiskrepanz), die Überraschungsreaktion, und mit ihr die Unterbrechungsfunktion, auslöst. *Unvermeidbarkeit* der Auslösung meint, daß selbst eine gegenteilige Intention nicht verhindern kann, daß die gerade ablaufende Handlung unterbrochen wird. Beide Merkmale werden im übrigen sehr durch die evolutionspsychologische Annahme nahegelegt, daß der Überraschungsmechanismus phylogenetisch alt ist. Dies impliziert, daß der Mechanismus zumindest ursprünglich unter Reizkontrolle gestanden hat, denn man kann annehmen, daß die intentionale Kontrolle von Verhalten eine phylogenetisch eher neue Errungenschaft ist. Weiterhin ergaben evolutionspsychologische Überlegungen, daß das adaptive Ziel des Mechanismus – die Entdeckung und Berichtigung fehlerhafter Repräsentationen – für das Überleben sehr wichtig ist. Entsprechend würde man einen robusten und fehlerfrei arbeitenden psychischen Mechanismus erwarten, der möglichst wenig durch momentane Wünsche des Organismus beeinflusst wird. All dies sind Gründe für die Erwartung, daß die Auslösung der Überraschungsreaktion nicht durch eine Intention vermittelt ist sondern vielmehr unabsichtlich und unvermeidbar erfolgt.

Als zwei weitere Bedeutungsnuancen des Intentionalitätskriteriums konnten Autonomie und Unkontrollierbarkeit identifiziert werden. Eine für das Merkmal der *Autonomie* zentrale Frage ist, ob für den Ablauf dieses Prozesses irgendwelche Ablaufparameter festzulegen sind. Ein Prozeß ist dann autonom, wenn die Ablaufparameter des Prozesses entweder fest sind (bzw. vor dem Start des Prozesses festgelegt werden) oder durch den Prozeß während seines Ablaufs selbstgesteuert spezifiziert werden. Bei der Unterbrechungsfunktion handelt es sich vermutlich um einen sehr einfach strukturierten Prozeß, der durch die Produktionsregel „wenn eine Schemadiskrepanz vorliegt, dann verursache eine allgemeine Unterbrechung der gerade ablaufenden Informationsverarbeitung“ beschrieben werden könnte. Es scheint für eine Implementierung der Unterbrechungsfunktion nicht notwendig zu sein, weitere Informationen über die Umwelt oder den Status des kognitiven Systems bei der Ausführung mit zu berücksichtigen. Man kann daher annehmen, daß keinerlei Ablaufparameter vor oder während des Ablaufs der Unterbrechungsfunktion festgelegt werden müssen. Da die Unterbrechungsfunktion also vermutlich einen sehr einfachen Prozeß darstellt und für ihren Ablauf wohl keine Parameter spezifiziert werden müssen, ist es vermutlich korrekt, sie als au-

tonom zu bezeichnen. Aus einem ähnlichen Grund scheint es wahrscheinlich zu sein, daß die Unterbrechungsfunktion ebenfalls *unkontrollierbar* ist. Wenn ein Prozeß offenbar nur einen einzigen Prozeßschritt (nämlich der "Übersetzung" einer Schemadiskrepanz in eine Unterbrechung) umfaßt, fällt es schwer sich eine Einflußnahme vorzustellen, nachdem der Prozeß einmal gestartet ist.

Nachdem nun einige Überlegungen zum Modus der Kontrolle der Unterbrechungsfunktion dargestellt worden sind, soll im folgenden die Frage behandelt werden, ob die Unterbrechungsfunktion automatisch im Sinne des *Interferenzkriteriums* ist. Betrachtet man die Definition eines interferenzfreien Prozesses, daß dieser weder Interferenz durch einen anderen Prozeß erleiden noch einen anderen Prozeß in seinem Ablauf stören soll, so fällt zunächst auf, daß der zweite Teil der Definition für die Unterbrechungsfunktion offensichtlich unpassend ist, denn die Störung anderer Prozesse ist ein unvermeidbarer Nebeneffekt einer Unterbrechung. Dieser zweite Teil der Definition läßt sich daher offenbar nicht vernünftig auf die Unterbrechungsfunktion anwenden. Dieser Sachverhalt galt übrigens auch bereits für die automatische Orientierung der Aufmerksamkeit und ist möglicherweise ein Merkmal, das charakteristisch für solche psychischen Mechanismen ist, die nicht im eigentlichen Sinne Informationen verarbeiten, sondern eher den Informationsfluß lenken. Für solche Kontrollmechanismen ist daher offenbar nur die erste Forderung des Interferenzkriteriums relevant, nämlich daß sie nicht durch andere, gleichzeitig ablaufende Prozesse störbar sein sollen.

Es ist auch für einen Kontrollmechanismus theoretisch durchaus denkbar, daß er nicht automatisch im Sinne des Interferenzkriteriums ist. Zwar scheint es eine naheliegende Annahme zu sein, daß die Unterbrechungsfunktion parallel zu anderen gleichzeitig ablaufenden Prozessen initiiert und ausgeführt wird und diese Prozesse daher zu einem beliebigen Zeitpunkt unterbrechen kann. Weiterhin wird diese Annahme auch sehr durch den evolutionspsychologischen Rahmen gestützt, durch den überraschende Ereignisse als solche Ereignisse gekennzeichnet werden, deren Relevanz für das eigene Wohlergehen sowie die sich daraus ergebende Relevanz für eine möglichst rasche auf das überraschende Ereignis bezogene Handlung zunächst unbekannt sind. Eine Unterbrechungsfunktion, die in der Lage ist, gerade ablaufende mentale Prozesse zu einem *beliebigen* Zeitpunkt zu unterbrechen und somit die Voraussetzungen für eine *umgehende* Beurteilung der Relevanz für das Wohlergehen und daraus folgende Handlungs-

weisen schafft, wäre offensichtlich das bestmögliche Design. Es ist jedoch zu bedenken, daß bestmögliches Design in der Evolution zwar häufig, jedoch nicht immer verwirklicht ist. Man denke beispielsweise an die ingenieurstechnisch unvollkommene Konstruktion des menschlichen Auges, in dem zwischen Linse und Photorezeptoren Blutgefäße und Neuronen für eine erste Verarbeitung der visuellen Information liegen. Diese Strukturen behindern einerseits den direkten Lichteinfall auf die Retina; andererseits ist diese Konstruktion für den blinden Fleck verantwortlich, an dem die Axone der diversen Neurone den Augapfel verlassen, so daß an dieser Stelle keine visuelle Information aus der Umwelt aufgenommen werden kann. Die Evolution gelangt also offenbar gelegentlich zu Lösungen, die ihre Funktion nicht optimal, aber offenbar ausreichend gut erfüllen.

Die weniger optimale – aber möglicherweise ausreichend gute – Lösung für das Design der Unterbrechungsfunktion könnte in einem Mechanismus bestehen, der nicht eigentlich zu einer Unterbrechung von Prozessen im engeren Sinne, sondern eher zu einer Unterbrechung der vorauslaufend geplanten Abfolge von Prozessen führt. Die Unterbrechung betreffe also mentale Vorgänge nicht auf dem *elementaren* Niveau einzelner mentaler Operationen, sondern auf einem mehr *molaren* Niveau von Tätigkeiten. Eine solche Funktion könnte sogar relativ einfach realisiert werden, beispielsweise innerhalb der von Norman und Shallice (1986) vorgeschlagenen Architektur. In dieser Architektur werden die im Verlauf einer Handlung – sei diese motorisch oder rein internal – ablaufenden Aktionen durch Schemata gesteuert. Die Selektion eines bestimmten Schemas für den Zugang zur Handlung geschieht ausschließlich aufgrund des Aktivierungsniveaus des Schemas. Eine Selektion geschieht immer dann, wenn das Aktivierungsniveau des Schemas einen für das Schema spezifischen Schwellenwert überschreitet. Mögliche Konflikte, beispielsweise wenn zwei gleichzeitig überschwellig aktivierte Schemata unvereinbare Handlungen spezifizieren oder beide für ihren Ablauf den Zugang zu einer begrenzt verfügbaren Ressource erfordern, werden durch den Prozeß des *contention scheduling* gelöst. Das Aktivierungsniveau eines Schemas steigt insbesondere dann an, wenn bestimmte Auslösebedingungen für die Ausführung der Handlung vorliegen oder wenn der intendierten Handlung Aufmerksamkeit zuteil wird. Ein Kernmerkmal dieses Modells ist, daß Aufmerksamkeit (a) nicht notwendig für die Auswahl eines Schemas für den Zugang zum Handeln ist, und daß (b) der durch Auf-

merksamkeit ausgeübte Einfluß auf die Selektion eines Schemas nicht direkt erfolgt, sondern indirekt über eine Modulation des Aktivierungsniveaus.

Die durch Überraschung ausgelösten kognitiven Prozesse der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses ließen sich in der Architektur von Norman und Shallice auch ohne spezialisierte Unterbrechungsfunktion wie folgt implementieren. Die verschiedenen Analyse- und Bewertungsprozesse werden durch Schemata repräsentiert, welche die Operationen spezifizieren, die für die Erreichung des Verarbeitungsziels ausgeführt werden müssen. Als Auslösebedingung, die eine maximale Aktivierung dieser Schemata zur Folge hat, ist das Vorliegen einer Schemadiskrepanz festgelegt. Wenn dieser Auslöser vorliegt, werden die Schemata maximal aktiviert und haben somit eine hohe Wahrscheinlichkeit zum nächst möglichen Zeitpunkt für den Zugang zum Handeln ausgewählt zu werden. Dies würde entweder parallel zur gerade ablaufenden Handlung geschehen, wenn nämlich keine Unvereinbarkeiten zwischen der gerade ablaufenden Handlung und einer Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses bestünden, oder aber zu einem durch den Prozeß des contention scheduling ausgehandelten Zeitpunkt, der dann von der relativen Priorität der ablaufenden Handlung einerseits und der Analyse- und Bewertungsprozesse andererseits abhängt. Wichtig ist die Feststellung, daß diese Modellvorstellung keinen besonderen Unterbrechungsmechanismus erfordert, sondern allein auf allgemeinen Verarbeitungsmerkmalen des kognitiven Apparates beruht. Ohne weitere Evidenz könnte man daher geneigt sein, der Empfehlung des William of Ockham zu folgen, nämlich keine Entitäten ohne Notwendigkeit zu postulieren, und entsprechend auf die Annahme einer speziellen Unterbrechungsfunktion zu verzichten.

Kognitive Architekturen mit und ohne eine spezialisierte Unterbrechungsfunktion sollten anhand des Interferenzkriteriums unterschieden werden können. Wenn die kognitiven Prozesse des Überraschungsmechanismus in der gerade beschriebenen Weise ohne Unterbrechungsfunktion implementiert werden, sind die Analyse- und Bewertungsprozesse Objekt des contention scheduling: wenn andere Prozesse mit ebenfalls hoher Priorität ablaufen, kann es geschehen, daß die Analyse- und Bewertungsprozesse nicht sofort sondern erst nach Beendigung dieser anderen Prozesse ausgeführt werden. In diesem Falle wäre die „Unterbrechung“ nicht automatisch im Sinne des Interferenzkriteriums, denn die Anwesenheit anderer kognitiver Prozesse würde den Zeitpunkt des

Starts dieser Prozesse verändern. Dagegen sollte der *Zeitpunkt* der Unterbrechung bei einer im Sinne des Interferenzkriteriums automatischen Unterbrechungsfunktion unabhängig von der Anwesenheit vs. Abwesenheit anderer kognitiver Prozesse sein.

Überlegungen zum Bewußtseinskriterium sind für den Moment leider größtenteils spekulativ. Zum Bewußtheitskriterium lassen sich folgende fünf Fragen stellen. (1) Ist der überraschende Reiz bewußt? (2) Ist der unmittelbare Auslöser der Unterbrechungsfunktion, nämlich die Schemadiskrepanz, bewußt? (3) Ist ihr Ablauf bewußt? (4) Ist ihr Ergebnis bewußt? (5) Ist ihre Wirkung bewußt? Während der *überraschende Reiz* wohl in aller Regel bewußt wahrgenommen wird, ist es schwer zu sagen, ob dies notwendigerweise der Fall ist. Das kognitiv-evolutionäre Modell der Überraschung beinhaltet implizit die gegenteilige Annahme: Die Orientierung der bewußten Aufmerksamkeit auf den überraschenden Reiz wäre schließlich nicht notwendig, wenn die bewußte Aufmerksamkeit bereits am überraschenden Reiz wäre. Unabhängig davon könnte die *Schemadiskrepanz* bewußt erlebt werden oder nicht. Introspektiv scheint es dabei so zu sein, daß Überraschung unmittelbar von dem überraschenden Reiz ausgeht und nicht etwa durch eine vermittelnde Kognition oder ein Gefühl der Unerwartetheit. Daß als Auslöser von Überraschung solch verschiedenartige Sachverhalte vermutet wurden wie "neu, ungewöhnlich, außergewöhnlich, unwahrscheinlich, unerwartet, fehlerwartet, entgegen den Erwartungen, unbekannt, selten oder plötzlich" (siehe Meyer und Niepel, 1994), mag als Hinweis auf die Richtigkeit dieses introspektiven Eindrucks gelten. Die Vielzahl an Begriffen legt es insbesondere nahe, daß zumindest die kausale Verknüpfung zwischen der Schemadiskrepanz und der Überraschung nicht bewußt ist (siehe auch Bargh, 1994).

Für den *Ablauf* der Unterbrechungsfunktion ist es schon aufgrund ihrer vermutlich sehr kurzen Zeitdauer unwahrscheinlich, daß sie bewußt wahrgenommen wird, denn kurzzeitige Ereignisse entgehen leicht der bewußten Aufmerksamkeit. Das unmittelbare *Ergebnis* der Unterbrechungsfunktion, nämlich die vorläufige Beendung eines bewußten Prozesses, dürfte wohl bewußtseinsfähig sein; andernfalls könnte nämlich nur bei anderen Personen festgestellt werden, ob sie in einer Handlung unterbrochen wurden. Im Gegensatz dazu scheint es jedoch möglich zu sein, eine Unterbrechung bei sich selbst festzustellen. Unklar ist allerdings, ob dies eine Folge des unmittelbaren Gewahrseins des Abbruchs ist, oder ob eine Bewußtwerdung der Unterbrechung eher durch

Schlußfolgerungen zustande kommt, wenn eine Person etwa feststellt, daß eine unterbrochene Bewegung nicht mehr in der geplanten Weise zu einem Ende gebracht werden kann, weil sich die Umwelt inzwischen verändert hat. Dies beantwortet nun auch die letzte Frage, denn die Unterbrechungsfunktion kann offenbar Effekte auf motorische Abläufe haben, und diese Effekte sollten entsprechend auch bewußt beobachtbar sein. Insgesamt scheint es also plausibel zu sein, daß zumindest einige Teilschritte zwischen dem Erscheinen eines überraschenden Reizes und den möglichen Effekten der Unterbrechung von der Person nicht bewußt wahrgenommen werden.

Zusammengefaßt legen die dargelegten Überlegungen die Vermutung nahe, daß die Unterbrechungsfunktion automatisch im Sinne des Intentionalitätskriteriums, des Interferenzkriteriums und des Bewußtseinskriteriums ist.

Automatizität anderer im Zusammenhang mit Überraschung auftretender Prozesse

In diesem Abschnitt sollen einige wenige Überlegungen zur Automatizität anderer Prozesse angestellt werden, die im Zusammenhang mit Überraschung auftreten. Diese Überlegungen sollen keinesfalls als abschließend aufgefaßt werden, sondern eher als erste Ansatzpunkte für eine weitergehende Analyse.

Dem kognitiv-evolutionären Modell der Überraschung lassen sich leicht einige Annahmen über die Automatizität anderer Komponenten und Folgen der Emotion Überraschung entnehmen. So lautet etwa eine Annahme des Modells, daß die Entdeckung einer Schemadiskrepanz auf einem kontinuierlich (d.h. parallel zu anderen mentalen Aktivitäten) ablaufenden Prüfprozeß beruht, der keinerlei Spur seines Ablaufs im Bewußtsein hinterläßt und keine bewußte Intention erfordert. Von diesem Prozeß wird also angenommen, daß er alle drei Hauptkriterien für automatische Prozesse erfüllt.

Das Vorliegen einer Diskrepanz löst neben der Unterbrechungsfunktion automatisch eine Aufmerksamkeitsverlagerung und das Überraschungsgefühl aus. Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt ausgeführt verweist der Begriff der Automatizität in diesem Zusammenhang primär auf die fehlende Notwendigkeit einer vermittelnden bewußten Absicht. Die biologische Funktion der unmittelbaren adaptiven Veraltensantwort legt darüber hinaus auch eine Automatizität im Sinne des Interferenzkriteriums nahe: Wenn es wichtig ist, so rasch wie möglich zu agieren, dann wäre es vorteilhaft, wenn zeitgleich ablaufende kognitive Prozesse den Beginn der Aufmerksamkeitsverla-

gerung und des Überraschungsgefühls nicht verzögern können. Beim Merkmal der Bewußtheit gelten für die Orientierung der Aufmerksamkeit sowie das Überraschungsgefühl im Prinzip die gleichen Überlegungen, die im vorherigen Abschnitt in Bezug auf die Unterbrechungsfunktion angestellt wurden. Allerdings ist zu beachten, daß das Überraschungsgefühl *per definitionem* bewußt ist, während es für die Orientierung der Aufmerksamkeit (wie für die Unterbrechungsfunktion) zumindest vorstellbar ist, daß das Ergebnis des jeweiligen Prozesses der bewußten Wahrnehmung entgeht. Zwar verändert auch die Orientierung der Aufmerksamkeit den Inhalt des Bewußtseins, aber dies bedeutet nicht unbedingt, daß der Sachverhalt der Orientierung bewußt ist.

Die kognitiven Prozesse der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses sind nach dem Modell *keine* automatischen Prozesse. Die Handlungsrelevanz, persönliche Bedeutsamkeit, etc. des überraschenden Ereignisses sind notwendigerweise unbekannt und müssen daher neu bestimmt werden, indem Schlußfolgerungen aus den sensorischen Daten und den im Gedächtnis gespeicherten Informationen gezogen werden. Diese Prozesse sind vermutlich mühevoll und erfordern zumindest ein Minimum an bewußter Aufmerksamkeit (siehe auch Lazarus, 1991). Tatsächlich haben Meyer et al. (1995) vorgeschlagen, diese Prozesse als intentionale Akte aufzufassen, deren Prioritäten von persönlichen Überzeugungen und Präferenzen genauso beeinflußt werden wie andere Handlungen auch.

Ohne die Schemaveränderung kann die langfristige adaptive Funktion von Überraschung nicht realisiert werden. Somit erscheint es zunächst plausibel zu sein, daß die Schemaveränderung nicht von einer bewußten Intention abhängt, deren Bildung und Ausführung von persönlichen Präferenzen und Überzeugungen beeinflußt wird. Rumelhart und Norman (1978; Rumelhart, 1984) unterscheiden allerdings verschiedene Formen der Wissensveränderung. Erstens findet Faktenlernen oder *accretion* statt, wobei Spuren des Verstehensprozesses zu Erinnerungen konkreter, einzelner Situationen führen. Zweitens werden Schemata kontinuierlich aufgrund des für sie relevanten Inputs geringfügig verändert (*tuning*), was dazu führt, daß sie den betreffenden Realitätsbereich immer besser repräsentieren können. Diese zwei Vorgänge sind offenbar automatisch in dem Sinne, daß eine vorauslaufend gebildete Intention nicht notwendig ist. Ein dritter Prozeß ist die Umstrukturierung (*restructuring*), in dessen Verlauf die Struktur des Schemas verändert wird. Dieser dritte Prozeß, der von den Autoren als schwierig

und aufwendig charakterisiert wird, tritt häufig als Folge der bewußten Einschätzung auf, daß ein bisheriges Schema offenbar in der bisherigen Form ungeeignet ist, um einen betreffenden Sachverhalt angemessen zu repräsentieren. Umstrukturierung gehört offenbar eher in die Kategorie intentionaler Prozesse. Für Schemaveränderungen, die in der Folge von überraschenden Ereignissen stattfinden, ist somit anzunehmen, daß geringfügige Veränderungen am Schema automatisch vorgenommen werden. Andererseits sind aufwendige Umstrukturierungen, wie sie insbesondere in der Folge von kausalen Analysen notwendig werden können (Meyer, 1988), vermutlich nicht automatisch.

Zusammengefaßt ergibt diese theoretische Analyse, daß die Prozesse der Schemaüberprüfung, der eigentliche Überraschungsmechanismus (Unterbrechung, Orientierung der Aufmerksamkeit und Überraschungsgefühls) sowie Teile der Schemaveränderung automatisch sind, nicht jedoch die Prozesse der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses sowie aufwendigere Schemaveränderungen.

Ein Paradigma zur Untersuchung der Unterbrechungsfunktion der Überraschung

Wie in einem früheren Abschnitt dieser Arbeit bereits dargelegt wurde, kann der vielfach replizierte Befund einer durch einen überraschenden Reiz hervorgerufenen Reaktionszeitverlängerung durch zwei Hypothesen erklärt werden. Die Unterbrechungshypothese erklärt die Reaktionszeitverlängerung damit, daß das überraschende Ereignis eine Unterbrechung der gerade ablaufenden kognitiven Prozesse – in diesem Fall der Reaktionszeitprozesse – bewirkt, die erst nach einer Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses wieder aufgenommen werden. Hierbei wird eine spezielle Unterbrechungsfunktion postuliert, die Teil des eigentlichen Überraschungsmechanismus ist. Andererseits ist die Reaktionszeitverlängerung ebenfalls konsistent mit einer Art Warteschlangenhypothese, die ohne eine spezielle Unterbrechungsfunktion auskommt. Nach dieser Hypothese ist die Reaktionszeit auf einen Zielreiz bei Darbietung eines überraschenden Reizes genau dann verlängert, wenn zentrale Verarbeitungsressourcen für die Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses bereitgestellt werden, *bevor* die (zentralen) Prozesse der Reaktionszeitaufgabe begonnen haben. In diesem Fall müßten die zentralen Anteile der Reaktionszeitprozesse warten (daher der Name) bis die Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses zu einem vorläufigen Ende gebracht worden sind.

Abbildung 8 soll die verschiedenen Hypothesen noch einmal rekapitulieren. Im oberen Teil der Abbildung (I) sind in schematischer Form die Prozesse abgebildet, die in einem normalen Versuchsdurchgang (ohne überraschendes Ereignis) zwischen dem Stimulus (S) und der Reaktion (R) vermitteln. Diese Prozesse lassen sich für den vorliegenden Zweck in drei Phasen teilen. Hierbei sind automatische Phasen im Sinne eines interferenzfreien und autonomen Ablaufs der in ihnen stattfindenden Prozesse durch weiß ausgefüllte Kästchen dargestellt und kapazitätsbegrenzte und willentlich kontrollierte Prozesse sind durch das grau ausgefüllte Kästchen dargestellt. Es ist für den jetzigen Zusammenhang unwesentlich, welche Prozesse genau in den drei Kästchen ablaufen; wichtig ist, daß die unmittelbar auf die Darbietung von S folgenden Prozesse sowie die unmittelbar R vorausgehenden Prozesse automatisch sind, und daß sich zwischen

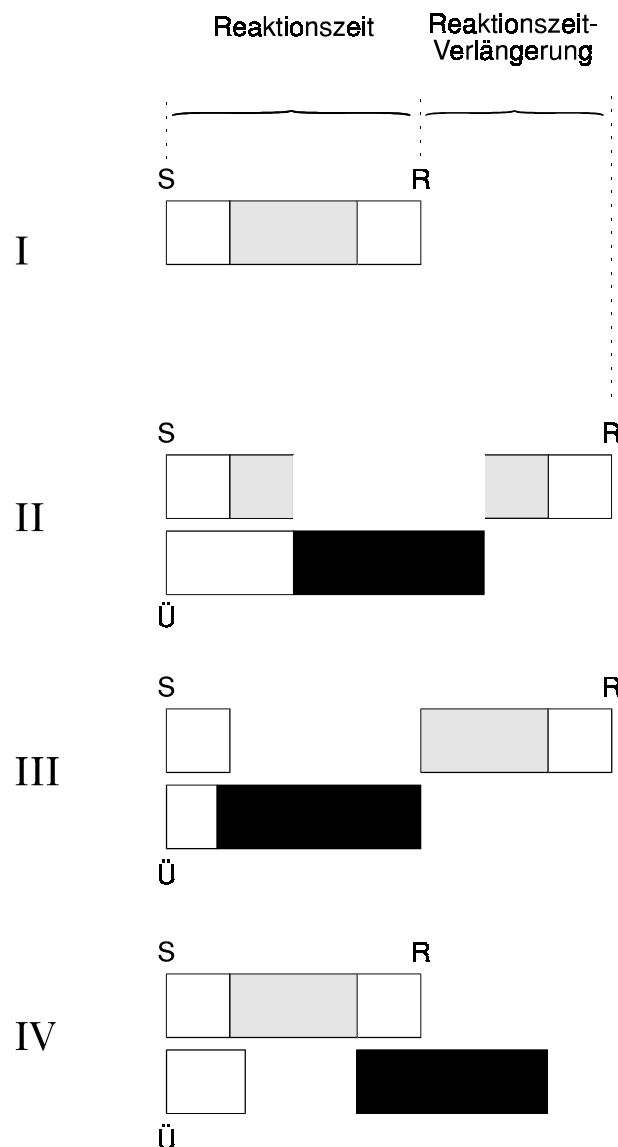


Abbildung 8. Zusammenfassende grafische Veranschaulichung der Abläufe im kritischen Durchgang eines Überraschungsexperiments nach der Unterbrechungshypothese und der Warteschlangenhypothese

diesen zwei automatischen Phasen eine zentrale Phase befindet, die durch kontrollierte Verarbeitung gekennzeichnet ist.

Im zweiten Panel (II) von Abbildung 8 ist dargestellt, wie eine Reaktionszeitverlängerung aufgrund einer Unterbrechung der zentralen Anteile der Reaktionszeitprozesse zustande kommen könnte. Da die erste Phase der Verarbeitung automatisch ist, können der Zielreiz (S) und der überraschende Reiz (Ü) gleichzeitig und ohne miteinander zu interferieren verarbeitet werden. Man bemerke, daß die automatische Verarbeitung von Ü fortgesetzt wird, während die zentralen Anteile der Reaktionsaufgabe bereits begonnen haben. Dies ist wiederum Teil des Merkmals Interferenzlosigkeit automatischer Prozesse, nämlich parallel mit willentlich kontrollierten und kapazitätsbegrenzten Prozessen ablaufen zu können. Die linke Kante des schwarz ausgefüllten Kästchens repräsentiert den Zeitpunkt, zu dem die Unterbrechungsfunktion aktiv wird; entsprechend werden die zentralen Prozesse der Reaktionszeitaufgabe zu diesem Zeitpunkt unterbrochen, und statt ihrer beginnen nun die Prozesse der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses, die durch das schwarze Kästchen repräsentiert werden. Die rechte Kante des schwarz ausgefüllten Kästchens repräsentiert den (vorläufigen) Abschluß dieser Prozesse und somit den Zeitpunkt, zu dem die unterbrochenen Reaktionszeitprozesse fortgesetzt werden. Letztendlich werden auch diese Prozesse zu einem Abschluß gebracht und die Reaktion R wird abgegeben. Man bemerke, daß der dargestellte zeitliche Vorteil der Reaktionszeitprozesse gegenüber der Überraschungsreaktion eine notwendige Bedingung dafür darstellt, daß überhaupt von einer Unterbrechung im eigentlichen Sinne gesprochen werden kann.

Man könnte jedoch – ausgehend von der Warteschlangenhypothese – die Ereignisse in einer Weise modellieren, in der keine Unterbrechung im eigentlichen Sinne stattfindet. Dies ist im dritten Panel (III) von Abbildung 8 schematisch dargestellt. Hier hat die Überraschungsreaktion einen kleinen zeitlichen Vorsprung gegenüber den zentralen Reaktionszeitprozessen. Mit anderen Worten, die Überraschungsreaktion, und insbesondere die Prozesse der Analyse und Bewertung, beginnen zu einem Zeitpunkt, zu dem die Reaktionszeitprozesse noch in der frühen automatischen Phase sind. Wichtig ist nun, daß diese automatischen Prozesse nicht unterbrochen werden, denn es ist ja gerade das Kennzeichen dieser Prozesse, parallel zu anderen automatisch oder willentlich kontrollierten Prozessen ablaufen zu können. Überraschung bewirkt in diesem Szenario

also keine Unterbrechung der ersten Phase der Reaktionszeitprozesse. Der *Ablauf* der zweiten Phase der Reaktionszeitprozesse wird jedoch ebenfalls nicht unterbrochen, ihr *Beginn* wird lediglich verzögert; diese zweite Phase beginnt nämlich erst, nachdem die Prozesse der Analyse und Bewertung abgeschlossen sind. Zum besseren Verständnis ist im vierten Panel (IV) von Abbildung 8 noch dargestellt, was nach der Warteschlangenhypothese passieren würde, wenn die Überraschungsprozesse etwas langsamer starten als die Reaktionszeitprozesse. In diesem Fall würde nämlich die Reaktionsaufgabe verzögerungsfrei ausgeführt, und es wären die Überraschungsprozesse, die erst deutlich später beginnen.

Diese ausführliche Darstellung sollte noch einmal verdeutlichen, daß es ohne Kenntnis des exakten Zeitpunkts von Beginn und Ende der zu unterbrechenden Prozesse einerseits und der Unterbrechungsfunktion andererseits unmöglich ist, eine beobachtete Reaktionszeitverlängerung auf eine *Unterbrechung* mentaler Prozesse zurückzuführen. Dies allerdings bedeutet, daß bisherige Experimente des Diskreten Paradigmas keine eindeutigen Belege für die Existenz einer Unterbrechungsfunktion erbracht haben.

Für eine Untersuchung der Unterbrechungsfunktion besteht noch eine zweite Schwierigkeit. Die standardmäßig verwendeten experimentellen Paradigmen für eine Unterscheidung von automatischen vs. kontrollierten Prozessen erfordern Aussagen über Schnelligkeit (z.B. erfaßt über Reaktionszeiten) oder Genauigkeit (z.B. erfaßt über Fehlerraten) der von ihnen erbrachten Leistung. Dies ist besonders augenfällig beim Interferenzkriterium, denn Interferenz wird in aller Regel über reduzierte Schnelligkeit oder reduzierte Genauigkeit operationalisiert: ein Prozeß ist dann automatisch im Sinne des Interferenzkriteriums, wenn die Schnelligkeit und Genauigkeit seines Ablaufs unabhängig davon ist, ob gleichzeitig willentlich kontrollierte Prozesse ablaufen oder nicht. Im Gegensatz dazu ist ein Prozeß dann kapazitätsbeschränkt und daher nicht automatisch, wenn er bei gleichzeitigem Ablauf anderer willentlich kontrollierter Prozesse langsamer und / oder fehlerhafter abläuft als wenn solche Prozesse nicht gleichzeitig ablaufen. Für das Intentionalitätskriterium könnten im Prinzip auch andere Vorhersagen gemacht werden, praktisch wird die Meßplatte jedoch auch hier bei der Schnelligkeit oder der Genauigkeit angelegt, mit der der betreffende Prozeß abgeschlossen wird.

Kurz gesagt, es ist für eine experimentelle Untersuchung der Automatizität der Unterbrechungsfunktion notwendig, über Informationen bezüglich der Schnelligkeit

oder Genauigkeit der Unterbrechungsfunktion zu verfügen. Diese Informationen können jedoch mit dem Diskreten Paradigma nur indirekt erlangt werden, denn die Reaktionszeitverzögerung hängt von der Latenz der Unterbrechungsfunktion *und* der Dauer der Prozesse der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses ab. Wünschenswert wäre es dagegen, über eine abhängige Variable zu verfügen, die möglichst ausschließlich Auskunft über die Latenz der Unterbrechungsfunktion gibt.

Um den Unzulänglichkeiten des Diskreten Paradigma zu begegnen wird in den hier berichteten Experimenten das *Kontinuierliche Paradigma* verwendet. Die wesentliche Veränderung zum Diskreten Paradigma besteht darin, daß die Versuchspersonen im Kontinuierlichen Paradigma eine kontinuierliche Aufgabe ausführen. Diese kontinuierliche Aufgabe ist ein schnelles Tapping, wobei zwei Tasten der Computertastatur mit den zwei Zeigefingern abwechselnd angeschlagen werden müssen. Ein solches Tapping kann problemlos viele Sekunden aufrechterhalten werden (Pew, 1966). Hierdurch wird es möglich, zwei in einem früheren Abschnitt angesprochene wichtige Kriterien an eine überzeugende Demonstration einer Unterbrechung zu erfüllen. Erstens muß die Handlung eine hinreichende Dauer haben, so daß ein überraschendes Ereignis *während* der Ausführung der Handlung dargeboten werden kann. Zweitens sollte die Handlung einen beobachtbaren Indikator für ihren Ablauf bereitstellen, damit zu jedem Zeitpunkt festgestellt werden kann, ob die Handlung ausgeführt wird oder nicht.

Grundsätzlich läßt sich das Tapping auf verschiedene Weise überwachen (etwa über Videoaufzeichnungen oder über die Registrierung von Muskelaktivität). Die Attraktivität der Tappingaufgabe ergibt sich jedoch gerade dadurch, daß ein sehr einfach zu registrierender Indikator für seine Ausführung verfügbar ist, nämlich das periodische Niederdrücken der zwei Tasten. Diese einfache Registrierung und Verarbeitbarkeit wird allerdings mit dem Nachteil erkaufte, daß die Ablaufkontrolle des Tappings nur intermittierend erfolgt: Bei einer Tappingrate von beispielsweise 10 Anschlägen pro Minute bekommt man etwa alle 100 ms Aufschluß über den Ablauf des Tappings. Diese Meßgenauigkeit mag grob erscheinen und sie mag nicht für alle Fragestellungen ausreichend sein. Sie wurde jedoch in Kauf genommen, weil die Erhebung anderer abhängiger Variablen mit einem ungleich höherem Aufwand verbunden gewesen wäre.

Die Tappingaufgabe kann weiterhin so gestaltet werden, daß auch die Latenzen intentionaler Unterbrechungen gemessen werden können, so daß intentionale Unterbre-

chungen und durch überraschende Ereignisse ausgelöste Unterbrechungen verglichen werden können. Insbesondere bei der Darstellung des Interferenzkriteriums wurde herausgestellt, daß die Aussagekraft von Experimenten zur Automatisität wesentlich erhöht werden kann, wenn der Einfluß einer experimentellen Manipulation auf die Unterbrechungsfunktion mit dem Einfluß der gleichen Manipulation auf eine willentliche Unterbrechung der gleichen Handlung verglichen werden kann. Das Kontinuierliche Paradigma ermöglicht einen solchen Vergleich. Hierzu bekommen die Personen Serien von Signalen dargeboten, die sie unter anderem dazu auffordern, das Tapping zu beginnen oder zu beenden. Die Antwort auf Signale, das Tapping zu beenden, werden hierbei als Beispiel für eine willentliche Unterbrechung einer Handlung für einen Vergleich mit der Unterbrechungsreaktion herangezogen werden.

Ansonsten teilt das Kontinuierliche Paradigma viele Merkmale mit dem Diskreten Paradigma. In einer ersten Schemabildungsphase werden die experimentellen Reize wiederholt in einer immer wiederkehrenden Weise dargeboten. Die Anzahl der Reizdarbietungen war dabei so gewählt, daß ein relativ starres Schema (Schützwohl, 1998) entsteht. In einem unmittelbar an die erste Phase anschließenden kritischen Durchgang wird unangekündigt eine Veränderung der experimentellen Reize vorgenommen. Von dieser Veränderung wird angenommen, daß sie von dem vorauslaufend etablierten Schema abweicht und daher Überraschung hervorruft. Unmittelbar im Anschluß an diesen letzten kritischen Durchgang werden einige auf diesen Durchgang bezogene Fragen gestellt, vor allem, ob in diesem Durchgang gegenüber den vorausgegangenen Durchgängen eine Veränderung wahrgenommen wurde und wie stark gegebenenfalls die Überraschung darüber war.

Experiment 1

Experiment 1 stellt in gewissem Sinn eine Brücke zwischen dem in früheren Untersuchungen zur Überraschung verwendeten Diskreten Paradigma und dem hier erstmals verwendeten Kontinuierlichen Paradigma dar. In einer Gruppe Start wurde ein überraschendes Ereignis – wie im Diskreten Paradigma – zeitgleich mit dem Beginn eines *Startsignals* realisiert, das die Versuchspersonen mit dem Beginn eines Tappings beantworten sollten. Die Bedingungen in dieser Gruppe waren also ganz analog zu einer Experimentalgruppe im Diskreten Paradigma mit gleichzeitiger Darbietung von übertra-

schemem Ereignis und Zielreiz – mit dem Unterschied allerdings, daß auf den Zielreiz nicht eine diskrete, sondern eine kontinuierliche motorische Antwort auszuführen war. In der Gruppe Stop, die keine Entsprechung im Diskreten Paradigma hat, wurde das überraschende Ereignis zeitgleich mit der Darbietung eines *Stopsignals* realisiert, auf das das Tapping beendet sollte.

Der ursprüngliche Anlaß für dieses Experiment war die Überlegung, daß die Unterbrechungshypothese verschiedene Vorhersagen für die gleichzeitige Darbietung von einem überraschenden Ereignis und einem Startsignal bzw. einem Stoppsignal macht. Wie bereits aus dem Diskreten Paradigma bekannt, sollte ein überraschendes Ereignis die Antwort auf ein Startsignal verzögern. Weil jedoch überraschende Ereignisse nach der Unterbrechungshypothese eine automatische Unterbrechung von Handlungen hervorrufen sollen, sollte ein Beenden des Tappings durch das überraschende Ereignis nicht verzögert werden. Die Unterbrechungshypothese legt also eine *Asymmetrie* hinsichtlich des Verhaltens in einem Durchgang mit einem Startsignal gegenüber einem Stoppsignal nahe. Die Untersuchung von schemakonformen und schemadiskrepananten Stoppsignalen sollte darüber hinaus erste Ergebnisse über die *Latenz* von Unterbrechungen aufgrund von Stoppsignalen und aufgrund überraschender Ereignisse erbringen.

Mithilfe der früheren Überlegungen zur Unterbrechungsfunktion lassen sich weitere Hypothesen aufstellen. Die Unterbrechungshypothese besagt, daß die zentrale Verarbeitung jederzeit durch ein überraschendes Ereignis unterbrochen werden kann, so daß die der zentralen Verarbeitung zugeordneten Ressourcen vorübergehend für die Prozesse der Analyse und Bewertung verwendet werden können. Wenn in der Gruppe Start die Überraschungsreaktion einsetzt, sind die zentralen Ressourcen entweder mit der Verarbeitung des Startsignals oder mit Aspekten der Steuerung des Tappings befaßt. Wenn die Latenz der Unterbrechungsfunktion u kleiner ist als die Initiierungslatenz des Tappings (die ungefähr der Reaktionszeit auf das Startsignal entspricht) i , dann würde die Verarbeitung des Startsignals und damit die Initiierung des Tappings verzögert. Wenn dagegen $u > i$ dann würde das Tapping zunächst begonnen und anschließend unterbrochen.

Tabelle 2

Überblick über die zu erwartenden Ergebnisse für die zwei Fälle $u < i$ und $u > i$

Abhängige Variable	Gruppe	$u < i$	$u > i$
Anschläge	Start	weniger Anschläge	weniger Anschläge
	Stop	weniger Anschläge	gleich viele Anschläge
Reaktionszeit	Start	lange RT	gleiche RT
	Stop	kurze RT	gleiche RT

Hieraus lassen sich folgende Erwartungen für die Reaktionszeit und sowie für die Anzahl der in einem definierten Intervall registrierten Tastenanschläge ableiten. Wenn die Unterbrechungshypothese zutrifft sollten in einem Durchgang mit überraschendem Ereignis deutlich weniger Anschläge registriert werden als in einem Durchgang ohne überraschendes Ereignis, weil das Tapping entweder mit Verzögerung begonnen wird (wenn $u < i$) oder nach einem unverzögerten Beginn kurzzeitig unterbrochen wird (wenn $u > i$). Des weiteren wird für den Fall $u < i$ erwartet, daß die Reaktionszeit im Vergleich mit den Durchgängen ohne überraschendes Ereignis verlängert ist³.

Für die Gruppe Stop lassen sich folgende Vorhersagen formulieren. Wenn in dieser Gruppe die Überraschungsreaktion einsetzt, sind die zentralen Ressourcen entweder mit der Steuerung des Tappings oder zusätzlich mit der Verarbeitung des Stopsignals befaßt. Welche der zwei Latenzen u und i auch kleiner ist, das Tapping sollte in jedem Fall unterbrochen werden. Entweder ist $u < i$, dann würde das Tapping unterbrochen, weil die Steuerungsprozesse des Tappings durch die Unterbrechungsfunktion unterbrochen wurden, oder es gilt $u > i$, dann würde das Tapping einfach aufgrund des

³ Die Ergebnisse aus dem Diskreten Paradigma legen nahe, daß eine moderate Reaktionszeitverzögerung eintreten sollte. Es ist jedoch durchaus möglich, daß das Verhältnis von u und i im Kontinuierlichen Paradigma anders ist als im Diskreten Paradigma, da i in Abhängigkeit von der konkret verwendeten Aufgabe variiert, beispielsweise von dem Aufwand die Antwort zu organisieren (Henry & Rogers, 1960).

Stopsignals beendet. Die empirische Vorhersage aufgrund der Unterbrechungshypothese lautet daher, daß die Anzahl registrierter Anschläge sich in Durchgängen mit und ohne überraschendes Ereignis nicht unterscheiden sollte (wenn $u > i$) oder in dem Durchgang mit überraschendem Ereignis etwas geringer sein sollte (wenn $u < i$). Eine analoge Vorhersage gilt für die Schnelligkeit, mit der die Versuchspersonen in Durchgängen mit und ohne überraschendes Ereignis das Tapping beenden (wie diese im folgenden als Stop-Reaktionszeit bezeichnete abhängige Variable bestimmt wird, wird an geeigneter Stelle ausgeführt).

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die aufgrund der vorauslaufend ausgeführten Überlegungen erwarteten Ergebnisse.

Methode

Versuchspersonen

Sechzehn Studierende verschiedener Disziplinen (acht Männer und acht Frauen) nahmen als Versuchspersonen an der Untersuchung teil. Sie wurden einzeln in der öffentlichen Halle des Hauptgebäudes der Universität Bielefeld angesprochen. Das Experiment wurde ihnen als Reaktionszeitaufgabe von etwa fünf Minuten Dauer vorgestellt, für deren Teilnahme ihnen DM 2 in Aussicht gestellt wurden. Das mittlere Alter der Versuchspersonen betrug 24.3 Jahre ($SD = 4.8$). Wie in Experimenten zur Emotion Überraschung allgemein üblich war es ein Auswahlkriterium, daß die Versuchsperson bisher nicht an einem Experiment zur Überraschung teilgenommen hatte. Um diese Anforderung zu erfüllen gingen nur solche Teilnehmer als Versuchspersonen in die Analyse der Daten ein, die in einer nach dem eigentlichen Experiment gestellten Frage angaben, bisher nicht an einem Experiment teilgenommen zu haben, in dem sie anschließend nach ihrer Überraschung gefragt worden seien.

Material

Die Reize wurden über einen 15" Monitor (Belinea 105060/II) mit einer Auflösung von 540×480 Bildpunkten und einer Bildwiederholungsrate von 72 Hz dargeboten. Der Monitor war mit einem IBM-kompatiblen PC verbunden. Die Computertastatur diente als Eingabegerät für die Tappingaufgabe und die postexperimentelle Befragung.

Die Reizpräsentation und die Answerfassung wurden über die Versuchssteuerungssoftware ERTS V3.19 (© BeriSoft Cooperation) realisiert.

Reize

Die Reize wurden durch schwarze Bildpunkte gebildet. Der Hintergrund war weiß. Während jedes experimentellen Blocks wurde ein Rahmen in der Mitte des Bildschirms gezeigt. Bei einer Betrachtung aus 70 cm Entfernung betrug der visuelle Winkel für den Rahmen $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ (alle Angaben über visuelle Winkel wurden über die Formel $\beta = 57.3 \times e / R$ berechnet [siehe Graham, 1965], wobei β den visuellen Winkel, e die Ausdehnung der Reize und R die Entfernung zum Monitor bezeichnet, die im vorliegenden Experiment ebenso wie in den weiteren Experimenten 70 cm betrug). Der Rahmen wurde durch 0.08° breite Linien gebildet. Als Startsignal diente ein Quadrat und als Stoppsignal diente ein Rhombus, d.h. ein Quadrat, das um 45° rotiert war. Beide Diagonalen des Quadrates und des Rhombus betrugen 1.2° . In der Schemabildungsphase wurden das Quadrat und der Rhombus durch 0.08° breite Umrißlinien gebildet. Im letzten (kritischen) Durchgang wurde das Quadrat bzw. der Rhombus als einfarbige Fläche schwarzer Bildschirmpunkte dargestellt.

Versuchsablauf

Die Versuchspersonen wurden einzeln in einem kleinen Laborraum untersucht, der sich in unmittelbarer Nähe der öffentlichen Halle des Hauptgebäudes der Universität Bielefeld befand. Während des Versuchs saßen sie an einem Tisch, auf dem sich der Computermonitor und die Tastatur befanden. Der Versuchsleiter trug dafür Sorge, daß die Versuchsperson so saß, daß die Entfernung zwischen ihren Augen und dem Monitor etwa 70 cm betrug.

Die schriftliche Instruktion hatte folgenden Wortlaut: "In dem nun folgenden Experiment werden Sie eine rasche Abfolge von Signalen sehen. Die Signale erscheinen in einem Rahmen, der sich in der Mitte des Bildschirms befindet. Es gibt zwei Signale:



Abbildung 9. Beispiel für eine Abfolge von Rauten und Quadraten in Experiment 1, wie sie den Versuchspersonen in der Instruktion gezeigt wurde.

eine kleine Raute und ein kleines Quadrat. Die Signale werden durch kurze Pausen getrennt, in denen der Rahmen leer ist. Eine mögliche Abfolge ist beispielsweise:" An dieser Stelle wurde eine Abbildung gezeigt, in der leere Rahmen und solche mit einem Quadrat oder einer Raute alternierten (siehe Abbildung 9). Der Text ging weiter mit den Worten: "Solange die Signale Rauten sind, sollen Sie nichts weiter tun als einfach den Bildschirm zu beobachten. Sie müssen sich dabei aber gut konzentrieren, denn es gilt schnell zu reagieren, wenn ein Quadrat erscheint. Sobald ein Quadrat erscheint, sollen Sie sofort beginnen, mit zwei Tasten ("Pfeil links" und "Pfeil unten") so viele Anschläge wie möglich zu erzielen. Dieses schnelle Tippen sollen Sie solange fortsetzen, bis eine Raute erscheint. Das bedeutet, daß Sie auch in den Pausen zwischen zwei Quadraten weiter Tippen sollen. Da ihr Ziel darin besteht, so viele Anschläge wie möglich zu erzielen, sollen sie in den Pausen zwischen zwei Quadraten auch nicht langsamer werden. Die Raute ist das Signal zum sofortigen Beenden des Tippens. Nun warten Sie wieder, bis ein Quadrat erscheint, das sie zur Wiederaufnahme des Tippens auffordert, und so weiter. Da es auf das schnelle Umschalten von Warten auf Tippen (und umgekehrt) ankommt, ist es sehr wichtig, daß Sie Ihren Blick nicht vom Bildschirm abwenden. Bitte positionieren Sie ihre Hände deshalb so, daß Sie das schnelle Tippen ausführen können, ohne die Hände zu beobachten". Anschließend wurden die wichtigsten Punkte der Instruktion noch einmal zusammengefaßt: "Also: Ein kleines Quadrat ist das Signal zum sofortigen Beginn des schnellen Tippens und gilt bis zu dem Zeitpunkt, bis die erste Raute zum sofortigen Unterbrechen des Tippens auffordert. Eine kleine Raute ist das Signal zum sofortigen Abbruch des Tippens und gilt bis zu dem Zeitpunkt, bis das nächste kleine Quadrat als Aufforderung zum schnellen Tippen erscheint. Wenn Sie noch Fragen zum Versuchsablauf haben, wenden Sie sich bitte jetzt an den Versuchsleiter. Sonst starten Sie die Übungsphase durch Drücken der 'Return' - Taste."

Im Anschluß an die Instruktion führten die Versuchspersonen einen Übungsblock aus, der aus 30 Signalen (15 Quadrate und 15 Rauten) bestand. Für jede Versuchsperson wurde eine zufällige Abfolge dieser Signale neu erstellt. Jedes Signal wurde für eine Sekunde gezeigt und nach jedem Signal wurde ein leerer Rahmen für eine weitere Sekunde dargeboten. Das Tapping wurde hierbei auf den zwei nebeneinander liegenden Tasten "←" und "↓" des separaten Cursorsteuerblocks der Tastatur ausgeführt. Während des Übungsblocks überwachte der Versuchsleiter die Aufgabenbear-

beitung der Versuchsperson, gab ihr Rückmeldung darüber, ob sie die Aufgabe richtig bearbeitete, und wiederholte und erläuterte bei Bedarf Teile der Instruktion. Insbesondere achtete der Versuchsleiter darauf, daß das Tapping schnell und gleichmäßig ausgeführt wurde und daß die Signale möglichst schnell beantwortet wurden. Nach dem Übungsblock beantwortete der Versuchsleiter eventuell verbliebene Fragen und informierte die Versuchsperson darüber, daß sie nun zwei experimentelle Blöcke bearbeiten würden, die etwa die gleiche Länge hätten wie der Übungsblock. Nachdem der Versuchsleiter der Versuchsperson erklärt hatte, wie sie die experimentellen Blöcke startet, setzte er sich an einen anderen Tisch im Laborraum, der so aufgestellt war, daß der Versuchsleiter der Versuchsperson den Rücken zuwandte, und beschäftigte sich mit einer anderen Aufgabe.

Der erste experimentelle Block bestand aus 30 Signalen und war genauso aufgebaut wie der Übungsblock. Nach Beendigung dieses Blocks wurden die Versuchspersonen durch eine Mitteilung auf dem Bildschirm informiert, daß sie eine kurze Pause machen könnten, wenn Sie dies wünschten. Die Versuchspersonen starteten den zweiten experimentellen Block wieder selbst.

Der zweite experimentelle Block bestand aus 20 Signalen (10 Quadrate und 10 Rauten), die in einer für jede Versuchsperson neu erstellten Zufallsabfolge gezeigt wurden, und zwei weiteren Signalen, die sich in Abhängigkeit von der Bedingung unterschieden. In der Start Bedingung war das vorletzte Signal eine Raute und das letzte Signal ein Quadrat. In der Stop Bedingung dagegen war das vorletzte Signal ein Quadrat und das letzte Signal eine Raute. Der Grund für die relative Kürze des Blocks (nur 22 Signale im Unterschied zu 30 Signalen in den vorauslaufenden Blöcken) war die Überlegung, daß der überraschende Reiz möglichst nicht zu einem Zeitpunkt dargeboten werden sollte, zu dem die Versuchspersonen bereits mit einem unmittelbar bevorstehenden Ende des Experimentes rechnen.

Unmittelbar nachdem das letzte Signal und der anschließende leere Rahmen gezeigt worden sind, begann die postexperimentelle Befragung. Alle Fragen wurden auf dem Bildschirm dargeboten. Als erstes wurden die Versuchspersonen gefragt, ob sie bemerkt hätten, daß das letzte Signal dunkel dargestellt war. Diese Frage konnte durch die Eingabe von "j" (für ja) oder "n" (für nein) über die Computertastatur beantwortet werden. Wenn die Versuchspersonen die Frage bejahten, wurden sie weiter gefragt, wie

stark sie darüber überrascht gewesen seien. Unter der Frage war eine 11-stufige Ratingskala abgebildet, deren Endpunkte null mit *überhaupt nicht überrascht* und 10 mit *so überrascht wie man nur sein kann* überschrieben waren. Abschließend wurden alle Versuchspersonen gefragt, ob sie bereits einmal an einem Experiment teilgenommen hätten, in dem sie anschließend nach ihrer Überraschung gefragt worden seien. Dies war die Frage, die im Falle einer positiven Beantwortung zu einem Ausschluß der Versuchsperson führte.

Versuchsplan

Es wurden zwei Gruppen gebildet, die sich ausschließlich in den letzten zwei Durchgängen unterschieden. Die Gruppe Stop bekam im letzten Durchgang ein verändertes Stoppsignal, und die Gruppe Start ein verändertes Startsignal dargeboten. Die Versuchspersonen wurden den zwei Gruppen zufällig zugewiesen mit der Einschränkung, daß beide Gruppen mit der gleichen Anzahl von Versuchspersonen besetzt sein sollten. Die abhängigen Variablen werden nachfolgend beschrieben.

Behandlung der Daten

Für einen Zeitraum von zwei Sekunden nach Beginn der Darbietung des Signals wurde der Zeitpunkt von bis zu 20 Tastenanschlägen registriert (die maximale Anzahl von 20 Tastenanschläge geht auf eine Beschränkung von ERTS V3.19 zurück). Diese Daten wurden folgendermaßen weiterverarbeitet.

In einem ersten Schritt wurde mit Hilfe eines Computerprogramms für jedes einzelne Signal bestimmt, ob es ein Startsignal, ein Weisersignal oder ein Stoppsignal ist. Ein *Startsignal* ist definiert als ein auf ein Signal nicht zu Tippen folgendes Signal zu Tippen (ein auf eine Raute folgendes Quadrat), ein *Weisersignal* als ein auf ein Signal zu Tippen folgendes Signal zu Tippen (ein auf ein Quadrat folgendes weiteres Quadrat), und ein *Stoppsignal* als ein auf ein Signal zu Tippen folgendes Signal nicht zu Tippen (eine auf ein Quadrat folgende Raute). Man beachte, daß die für jede Person in jedem Block neu erstellte Zufallsabfolge den Effekt hat, daß die Anzahl von Start- Weiser- und Stoppsignalen zwischen 9 und 15 ($M = 12.6$ Signale) variierte.

Weiterhin wurden für die weitere Auswertung folgende Festlegungen getroffen.

(1) Die RT ist definiert als das Zeitintervall zwischen dem Beginn eines Reizes und dem Beginn der motorischen Antwort auf diesen Reiz. Die RT für die Beantwor-

tung von Startsignalen läßt sich daher sehr einfach ermitteln, denn sie entspricht fast genau dem Zeitpunkt des ersten Tastenanschlags (nur fast genau, weil selbst bei dem Anschlag einer Taste auf der Computertastatur zwischen Beginn und Ende der motorischen Antwort Zeit vergeht). Die Zeit für die Beantwortung von Stoppsignalen (Stop-Reaktionszeit, SRT) läßt sich nicht so leicht bestimmen. Das Problem besteht darin, daß über die Tastenanschläge diskrete Ereignisse gemessen werden, die während einer kontinuierlichen Handlung hervorgebracht werden. Dies hat zur Folge, daß jeder Tastenanschlag nur Information darüber offenbart, daß das Tapping noch ausgeführt wird, bzw. daß das Tapping noch nicht beendet wurde. Der Zeitpunkt des letzten im Aufzeichnungszeitraum registrierten Tastenanschlags gibt daher nur eine *untere* Grenze für die SRT an. Eine *obere* Grenze für die SRT läßt sich schätzen, indem das mittlere Inter-Tap-Intervall (ITI) zum Zeitpunkt des letzten Anschlags hinzugezählt wird. Eine vernünftige Schätzung der SRT scheint daher die Mitte des Intervalls zwischen unterer und oberer Grenze der SRT zu sein, die im folgenden als eSRT (das e steht für estimated = geschätzt) bezeichnet werden soll.

(2) Als ein weiterer Indikator für die Schnelligkeit der Antwort auf das Stoppsignal wurde die Anzahl der nach Beginn des Stoppsignals registrierten Anschläge ausgewertet. Diese abhängige Variable soll als Alternative zur eSRT verwendet werden. Es soll insbesondere beobachtet werden, ob dieses Maß unter Umständen für einen Vergleich von Latenzen bis zur Beendigung des Tappings robuster ist als die eSRT. Die Überlegung hierbei ist, daß Personen gelegentlich unabsichtlich eine Taste niederdrücken könnten, nachdem Sie das Tapping eigentlich bereits schon beendet haben.

(3) Eine weitere Auswertung, die eher explorativ ist und aufgrund der Neuheit der experimentellen Vorgehensweise aufgenommen wurde, soll zeitabhängige Veränderungen der Tappingrate darstellen. Hierzu wurde die Zeit nach Darbietung jedes Signals in 200 ms Intervalle aufgeteilt und für jedes dieser Intervalle die Anzahl der Anschläge bestimmt, die in diesem Zeitraum registriert wurden.

Statistische Analyse

Als Signifikanzniveau wurde die Wahrscheinlichkeit für einen *Typ I* Fehler von $p = 0.05$ festgelegt. Effekte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0.05$ werden als signifikant bezeichnet, Effekte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $0.05 < p \leq 0.10$

werden als tendenziell signifikant bezeichnet, und Effekte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p > 0.10$ werden als nicht signifikant bezeichnet. Für *a-priori* Hypothesen wurden einseitige Tests durchgeführt. Da dies auf die meisten t-Tests im folgenden Experiment zutraf, sind alle berichteten t-Tests einseitig solange eine zweiseitige Testung nicht explizit angegeben ist.

Für Varianzanalysen mit Meßwiederholung wurden gegebenenfalls Anpassungen der Freiheitsgrade mit der Huynh-Feldt Korrektur vorgenommen. Um die Lesbarkeit jedoch nicht zu beeinträchtigen, werden jeweils die unkorrigierten Freiheitsgrade sowie der Korrekturfaktor ε angegeben.

Ergebnisse

Der Ergebnisteil hat folgenden Aufbau. Da dieses Experiment das erste Experiment im Kontinuierlichen Paradigma ist, wird zunächst eine relativ detaillierte Analyse der Leistung bei schemakonformen Signalen erfolgen. Anschließend erst wird die eigentliche Fragestellung des Experimentes betrachtet und die Leistung im kritischen Durchgang analysiert.

Leistung bei schemakonformen Signalen

Eine erste Analyse ergab, daß einige Personen das Tapping so schnell ausführten, daß sie die maximale Anzahl von 20 Anschlägen in einzelnen Durchgängen bereits deutlich vor Ende des Aufzeichnungszeitraums von 2000 ms erreichten. Um Verzerrungen der abhängigen Variablen zu vermeiden, wurde das zu analysierende Zeitintervall daher auf 1200 ms eingeschränkt.

Abbildung 10 zeigt die Anschläge \times Zeit Darstellung der Leistung nach Start-, Weiter- und Stopsignalen. Auf der Abszisse ist die Zeit in 200 ms Intervallen dargestellt, die nach der Darbietung des Signals vergangen ist. Die Ordinate zeigt die durchschnittliche Anzahl von Anschlägen, die in jedem Intervall registriert worden sind.

Innerhalb 1200 ms nach einem Startsignal wurden im Durchschnitt 9.0 ($SD = 2.0$) Anschläge registriert (vergleiche Abbildung 10, linker Teil). Der erste Anschlag wurde nach durchschnittlich 380 ms ($SD = 42$ ms) registriert. Im ersten 200 ms Intervall wurde praktisch kein Anschlag registriert; die mindestens benötigte Zeit, um auf das Startsignal zu antworten, liegt also über 200 ms. Ab dem nach 400 ms beginnenden In-

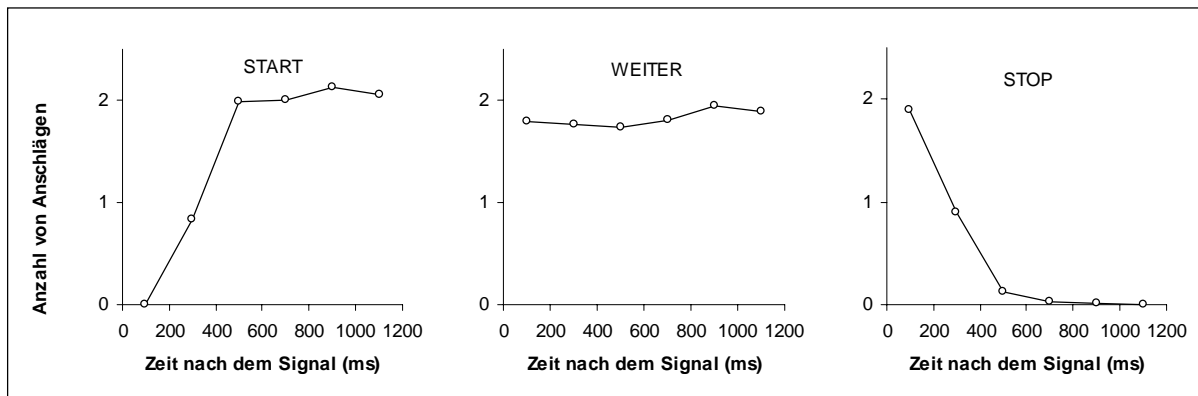


Abbildung 10. Anschläge \times Zeit Darstellung der Tappingleistung nach schemakonformen Start-, Weiter- und Stoppsignalen in Experiment 1.

tervall veränderte sich die Anzahl der Anschläge kaum; dies legt nahe, daß das Tapping nur bei einer sehr geringen Anzahl von Startsignalen später als 400 ms begann. Ab diesem Intervall wurde das Tapping relativ konstant mit einer Rate von durchschnittlich 2.03 ($SD = 0.45$) Anschlägen / 200 ms ausgeführt. Um zu überprüfen, ob das Tapping graduell (mit zunehmend kürzer werdenden Intervallen zwischen den Anschlägen) oder in einer alles-oder-nichts Weise (mit gleichbleibenden Intervallen zwischen den Anschlägen) gestartet wird, wurden die ITI untersucht. Hierzu wurde zunächst für jede Versuchsperson über alle Startsignale das mittlere erste, zweite, dritte, etc. ITI berechnet. Eine Betrachtung der Daten zeigte, daß die ITI sich nur geringfügig in Abhängigkeit von der Position unterschieden. Für die ersten acht ITI, für die von jeder Versuchsperson Daten vorlagen, wurde anschließend eine einfache Varianzanalyse (ANOVA) mit der Position des ITI als Meßwiederholungsfaktor gerechnet. Die ANOVA bestätigte den ersten Eindruck: die Position des ITI hatte keinen signifikanten Einfluß auf die Länge des ITI, $F(7, 105) = 1.15$. Das durchschnittliche ITI betrug dabei 103 ms ($SD = 33$ ms).

Innerhalb 1200 ms nach einem Weitersignal wurden im Durchschnitt 11.1 ($SD = 2.6$) Anschläge registriert (vergleiche Abbildung 10, mittlerer Teil). Die durchschnittliche Tappingrate betrug 1.9 ($SD = 0.41$) Anschläge / 200 ms und das durchschnittliche ITI betrug 117 ms ($SD = 37$ ms). Um zu überprüfen, ob die Verarbeitung des Signals selbst einen Einfluß auf die Leistung in der Tappingaufgabe hat, wurde eine ANOVA durchgeführt, die für die ersten acht ITI den Einfluß der Position auf die Dauer des ITI analysierte. Die ANOVA erbrachte einen signifikanten Haupteffekt für die Position des

ITI, $F(7, 105) = 3.36$, $\varepsilon = 0.45$, $p < 0.05$, der allerdings auf numerisch kleine Oszillationen der ersten fünf ITI zurückgeht. Die entsprechenden Mittelwerte der ersten fünf ITI waren 116 ms, 133 ms, 112 ms, 127 ms und 113 ms. Post hoc Vergleiche jeder Position mit der vorausgegangenen Position mittels zweiseitiger t-Tests ergaben einen tendenziell signifikanten Unterschied für das erste Paar, $t(15) = 2.06$, $p < 0.10$, und signifikante Unterschiede für die drei übrigen Paare, $ts > 2.14$, $ps < 0.05$. Insgesamt scheint die Verarbeitung des Signals eine nur sehr geringe Auswirkung auf die Leistung in der Tappingaufgabe zu haben.

Innerhalb 1200 ms nach einem Stoppsignal wurden im Durchschnitt 3.0 ($SD = 0.8$) Anschläge registriert (vergleiche Abbildung 10, rechter Teil). Der letzte Anschlag wurde im Durchschnitt nach 257 ms ($SD = 58$ ms) registriert. Die Tappingrate im ersten 200 ms Intervall war ebenso hoch wie nach einem Weisersignal, was nahelegt, daß die minimale Reaktionszeit auf das Stoppsignal nicht unter 200 ms liegt. In dem 400 ms nach dem Signal beginnenden Intervall war die Tappingrate beinahe null. Dies legt nahe, daß das Tapping selten später als 400 ms nach dem Signal beendet wurde. Das mittlere ITI betrug 111 ms ($SD = 38$ ms). Eine Analyse der ITI ergab, daß das Tapping nicht graduell verlangsamt wurde. Nur für die ersten drei ITI, 102 ms, 122 ms und 87 ms lagen von allen Versuchspersonen Daten vor. Eine ANOVA mit dem Faktor Position des ITI ergab einen signifikanten Haupteffekt, $F(2, 30) = 8.88$, $\varepsilon = 0.85$, $p < 0.01$, der auf eine signifikante Verlängerung des zweiten ITI gegenüber dem ersten ITI, $t(15) = 3.47$, $p < 0.01$ (zweiseitig) und gegenüber dem dritten ITI, $t(15) = 3.60$, $p < 0.01$ (zweiseitig), zurückgeht. Die Verlängerung im zweiten ITI ist vermutlich auf eine Störung des Tappings durch die Verarbeitung des Signals zurückzuführen.

Als nächstes wurde die eSRT als Zeitpunkt des letzten Anschlags + $0.5 \times ITI$ berechnet, wobei *ITI* als Mittelwert aller ITI der betreffenden Versuchsperson geschätzt wurde. Hieraus ergab sich für eSRT ein Wert von 312 ms ($SD = 59$ ms) der signifikant niedriger war als der Wert der RT, $t(15) = 4.67$, $p < 0.001$ (zweiseitig).

Leistung bei schemadiskrepanten Signalen

Abbildung 11 zeigt eine Anschläge \times Zeit Darstellung der Leistung bei den schemadiskrepanten Signalen (ausgefüllte Kreise) und als Referenzwerte die Leistung der gleichen Versuchspersonen bei schemakonformen Signalen (offene Kreise).

Wie der linken Hälfte von Abbildung 11 zu entnehmen ist, war die Leistung nach einem Startsignal bei schemadiskrepanter Darstellung deutlich verschieden von der Leistung bei schemakonformer Darstellung. Die Gesamtzahl von Anschlägen war signifikant geringer bei schemadiskrepanter Darstellung als bei schemakonformer Darstellung (0.8 vs. 8.2), $t(7) = 9.5$, $p < 0.001$. Ein Vergleich der Reaktionszeiten replizierte das bekannte Ergebnis einer Antwortverzögerung durch überraschende Ereignisse (z.B. Meyer et al., 1991). Drei der insgesamt acht Versuchsteilnehmer in dieser Gruppe begannen das Tapping überhaupt nicht. Unter der Annahme, daß auch die drei Versuchspersonen, die das Tapping nicht begannen, irgendwann geantwortet hätten, wurde diesen Personen der höchste mögliche Wert von 1200 ms zugewiesen. Da durch diese Maßnahme nicht mehr von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann, wurde anstelle eines t-Tests der nichtparametrische Wilcoxon-Test durchgeführt, der zeigte, daß die Differenz der durchschnittlichen Reaktionszeit auf die schemakonformen Startsignale minus die Reaktionszeit auf das schemadiskrepante Startsignal immer negativ war, $Z = -2.52$, $p < 0.05$. Mit anderen Worten, in keinem Fall war die Reaktionszeit im kritischen Durchgang schneller als in den vorausgegangenen Durchgängen.

Die Leistung nach einem schemadiskrepanten Stoppsignal ist der rechten Hälfte

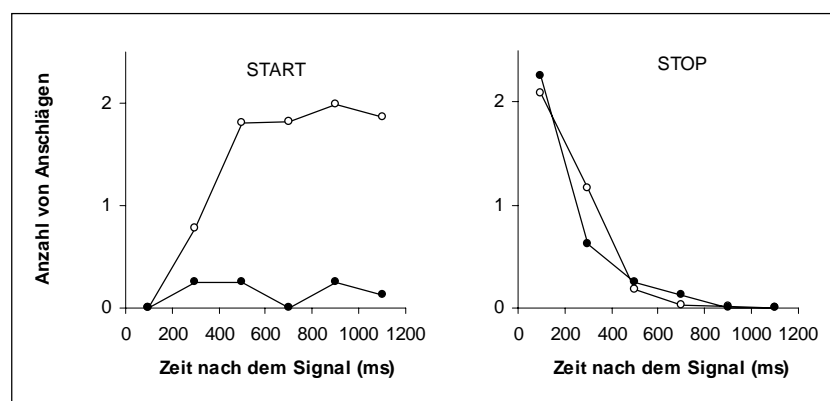


Abbildung 11. Anschläge \times Zeit Darstellung der Leistung nach Darbietung eines schemadiskrepanten Startsignals (ausgefüllte Kreise) im kritischen Durchgang in Experiment 1. Zum Vergleich ist die Leistung der jeweils gleichen Versuchspersonen in den vorangegangenen Durchgängen mit schemakonformen Signalen dargestellt (offene Kreise).

der Abbildung 11 zu entnehmen. Die Gesamtzahl von Anschlägen unterschied sich nicht signifikant von der durchschnittlichen Anzahl von Anschlägen, die nach einem schemakonformen Stoppsignal registriert wurden (3.2 vs. 3.5), $t < 1$. Weiterhin gab es keinen signifikanten Unterschied im Zeitpunkt des letzten Anschlages zwischen dem schemadiskrepanten Stoppsignal und den schemakonformen Stoppsignalen (283 ms vs. 287 ms), $t < 1$.

Abschließend wurden als zusätzliche Analyse *post hoc* Vergleiche der Anzahl von Anschlägen in jedem 200 ms Intervall zwischen den schemakonformen und den schemadiskrepanten Durchgängen durchgeführt. Diese Analyse geschah mit dem Ziel, über eine alternative Auswertung Hinweise auf den Zeitpunkt zu erhalten, zu dem die Unterbrechungsfunktion einsetzt. Für die Startsignale konnte das erste Intervall nicht untersucht werden, da keine Versuchsperson in diesem Intervall einen Anschlag abgegeben hatte. In allen anderen Intervallen jedoch wurden bei dem schemadiskrepanten Signal weniger Anschläge registriert als bei den vorausgegangenen schemakonformen Signalen $ts > 3.25$, $ps < 0.05$ (zweiseitig). Für die Stoppsignale gab es einen signifikanten Unterschied in der Anzahl von Anschlägen im zweiten 200 ms Intervall, $t(7) = 2.04$, $p < 0.05$ (zweiseitig), während die übrigen Vergleiche nicht signifikant waren, $ts < 1.5$. Zusammengenommen legen diese Vergleiche nahe, daß die Unterbrechungsfunktion etwa im Bereich 200-400 ms nach Beginn des überraschenden Reizes einsetzt.

Überraschungsskalierungen

Alle Versuchspersonen gaben auf die entsprechende Frage an, daß sie die Veränderung des letzten Signals wahrgenommen hatten. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den zwei Bedingungen in den Überraschungsskalierungen, $t(15) = 1.12$. Die durchschnittliche Überraschungsskalierung betrug 5.8; dies entspricht einer mittleren Überraschungsintensität.

Diskussion

Die Ergebnisse von Experiment 1 zeigen in Übereinstimmung mit der Unterbrechungshypothese, daß der Beginn einer Handlung durch eine überraschende Veränderung eines Startsignals verzögert wird, während die überraschende Veränderung eines Stoppsignals die Beendigung der Handlung nicht verzögert. Darüber hinaus legen die Ergebnisse einige Vermutungen über die relative Dauer von Unterbrechungslatenz (u)

einerseits und der Initialisierungslatenz der Antwort auf das Start- bzw. Stoppsignal (i) nahe. Der Umstand, daß bei einem schemadiskrepanten Startsignal weniger Anschläge registriert wurden *und* eine Reaktionszeitverzögerung festgestellt wurde, stimmt mit einem Modell überein, in dem $u < i$ gilt (vergleiche Tabelle 2). Bei einem schemadiskrepanten Stoppsignal wurden dagegen weder deutlich weniger Anschläge registriert, noch beendeten die Versuchspersonen das Tapping deutlich früher als bei einem schemakonformen Stoppsignal. Dieses Muster stimmt mit einem Modell überein, in dem $u > i$ gilt. Entsprechend läßt sich die Latenz der Unterbrechungsfunktion auf einen Bereich $eSRT < u < RT$ eingrenzen, d.h. also $312 \text{ ms} < u < 380 \text{ ms}$. Diese Analyse wird im übrigen unterstützt durch das Ergebnis der Vergleiche für die einzelnen Intervalle, in denen signifikante Unterschiede in beiden Gruppen im Zeitraum 200-400 ms nach Darbietung des Signals festgestellt wurden.

Die Ergebnisse lassen jedoch zumindest eine alternative Deutung zu. Man könnte nämlich annehmen, daß die Versuchspersonen die veränderten Signale nicht als Start- bzw. Stoppsignale erkannt haben, und daher nicht wußten, wie sie auf diese unbekannten Signale reagieren sollten. Möglicherweise nahmen sie daher das Auftreten eines nicht durch die Instruktion definierten Signals in einer einfachen und ansonsten klar definierten Aufgabe zum Anlaß, das Tapping zu beenden. Tatsächlich ließe sich die sehr stark veränderte Leistung in der Startgruppe, in der drei Versuchspersonen überhaupt nicht reagierten und die übrigen typischerweise nur ein oder zwei Anschläge abgaben, als Ausdruck einer Unsicherheit über die auszuführende Antwort interpretieren. Das anschließend dargestellte Experiment 2 beinhaltet eine Veränderung, die diese Interpretation ausschließen soll.

Experiment 2

Es gab zwei wesentliche Veränderungen in Experiment 2 gegenüber Experiment 1. Erstens wurden anstelle von Quadraten und Rauten die Wörter "START" und "STOP" als Signale verwendet und die Erscheinung der Signale wurde im überraschenden Durchgang nicht verändert sondern blieb über das gesamte Experiment gleich. Das überraschende Ereignis war praktisch identisch mit dem schemadiskrepanten Startsignal in Experiment 1 und bestand in der erstmaligen Darbietung einer ausgefüllten Raute nach vielen Wiederholungen einer nicht ausgefüllten Raute. Der Raute, deren Darbie-

tung in jedem Versuchsdurchgang synchron mit dem Signal begann und endete, wurde durch die Instruktion keine Bedeutung für das Experiment zugewiesen. Die zweite Veränderung bestand darin, daß insgesamt drei Gruppen untersucht wurden: In der Gruppe Start wurde die ausgefüllte Raute gemeinsam mit einem Startsignal gezeigt, in der Gruppe Weiter wurde die ausgefüllte Raute gemeinsam mit einem Signal gezeigt, daß die Versuchspersonen zum weiter tippen auffordert, und in der Gruppe Stop wurde die ausgefüllte Raute gemeinsam mit einem Stopsignal gezeigt. Die Vorhersagen für die Gruppen Start und Stop entsprachen natürlich denen der entsprechenden Gruppen in Experiment 1. Für die Gruppe Weiter wurde vorhergesagt, daß die Veränderung der Raute im kritischen Durchgang das Tapping unterbrechen würde, und daß die Anzahl von Anschlägen nach Darbietung der Raute daher reduziert sein würde.

Methode

Versuchspersonen

Vierundzwanzig Studenten verschiedener Disziplinen nahmen an der Untersuchung teil. Sie wurden individuell in der öffentlichen Halle des Hauptgebäudes der Universität Bielefeld angesprochen, ob sie an einem fünf Minuten andauernden Experiment teilnehmen würden, für dessen Bearbeitung sie 2 DM erhalten würden. Das mittlere Alter der 14 Frauen und 10 Männer betrug 24.1 Jahre ($SD = 2.9$). Keine dieser Personen hatte nach eigenem Bekunden vorher bereits an einem Experiment zur Überraschung teilgenommen.

Material und Reize

Die verwendeten Geräte waren die gleichen wie in Experiment 1. Die Reize wurden durch schwarze Bildpunkte gebildet und auf einem weißen Hintergrund dargeboten. Während jedes experimentellen Blocks wurde der gleiche Rahmen wie in Experiment 1 in der Mitte des Bildschirms gezeigt. Als Signale dienten das 1.6° breite und 0.4° hohe Wort "START" und das 1.4° breite und 0.4° hohe Wort "STOP", die beide durch Großbuchstaben gebildet wurden. Die Wörter wurden zentriert über oder unter dem Rahmen dargeboten. Die Entfernung zwischen dem Rahmen und der Unter- bzw. Oberkante der Wörter betrug 0.3° . Die Raute war dieselbe wie in Experiment 1.

Versuchsablauf

Die Versuchspersonen wurden einzeln in einem kleinen Labor untersucht, das sich in unmittelbarer Nähe der öffentlichen Halle des Hauptgebäudes der Universität Bielefeld befand. Während des Versuchs saßen sie an einem Tisch, auf dem sich der Computermonitor und die Tastatur befanden. Der Versuchsleiter sorgte dafür, daß die Entfernung zwischen den Augen der Versuchsperson und dem Monitor etwa 70 cm betrug.

Die schriftliche Instruktion war der in Experiment 1 verwendeten sehr ähnlich. Den Versuchspersonen wurde zunächst mitgeteilt, daß sie eine rasche Folge von Signalen sehen würden, die entweder über oder unter einem Rahmen in der Mitte des Bildschirms erschienen und daß gleichzeitig mit jedem Signal in dem Rahmen eine Raute erscheinen würde. Ihnen wurde weiterhin mitgeteilt, daß aufeinanderfolgende Signale durch Intervalle getrennt wurden, in denen der Rahmen leer ist. Die Beschreibung wurde durch eine Abbildung illustriert.

Die Instruktion beschrieb die Aufgabe weiterhin wie folgt: wenn START erschien, sollten sie sofort beginnen die "Pfeil links" und "Pfeil unten" Taste der Tastatur in schneller Folge mit dem linken und dem rechten Zeigefinger alternierend niederzudrücken. Dieses Tapping sollten sie beenden, sobald ein STOP erscheint. Das Tapping sollte schnell ausgeführt werden und sie sollten das Tapping nicht verlangsamen, wenn die leeren Rahmen gezeigt werden, die zwischen den Signalen erscheinen. Es wurde die Wichtigkeit eines schnellen Wechsels zwischen Tippen und Warten betont und hervorgehoben, daß daher der Monitor kontinuierlich überwacht werden sollte. Am Ende der Instruktion wurde die Bedeutung der Signale noch einmal wiederholt und die Versuchspersonen wurden angewiesen, sich an den Versuchsleiter zu wenden. Der Versuchsleiter fragte dann die Versuchsperson, ob sie alles verstanden habe und beantwortete eventuell bestehende Fragen.

Anschließend bearbeiteten die Versuchspersonen einen Übungsblock. Dieser Übungsblock bestand aus 40 Signalen, die durch eine orthogonale Kombination der zwei Wörter ("START" und "STOP") und der zwei Position (über und unter dem Rahmen) gebildet wurden. Die resultierenden vier Wort \times Position Kombinationen wurden in einer für jede Versuchsperson neu erstellten Zufallsabfolge dargeboten. Während des Übungsblockes beobachtete der Versuchsleiter die Aufgabenbearbeitung durch die Ver-

suchsperson, wobei er auf hinreichende Schnelligkeit und Gleichmäßigkeit des Tappings sowie auf schnelle Reaktionen auf die Signale achtete, die Versuchsperson verbesserte und wenn notwendig Teile der Instruktion wiederholte. Nach dem Übungsblock gab der Versuchsleiter der Versuchsperson erneut die Möglichkeit, Fragen bezüglich der Aufgabe zu stellen und erklärte anschließend, wie die experimentellen Blöcke gestartet werden.

Der erste Experimentalblock bestand aus 40 Signalen, deren Zusammensetzung und Aufeinanderfolge analog zum Übungsblock war. Nach diesen 40 Signalen wurden die Versuchspersonen unterrichtet, daß sie gerade den ersten Block abgeschlossen hätten und nun eine kurze Pause nehmen könnten, wenn sie dies wünschten. Den zweiten Block starteten die Versuchspersonen wie den ersten Block alleine.

Der zweite Experimentalblock bestand aus 20 Signalen (5 Wiederholungen der vier Wort \times Position Kombinationen) in einer für jede Versuchsperson neu erstellten Zufallsabfolge sowie zwei Signalen in fester Abfolge. In der Gruppe Start waren diese zwei Signale ein "STOP" gefolgt von einem "START"; in der Gruppe Weiter waren die Signale ein "START" gefolgt von einem "START"; und in der Gruppe Stop waren die Signale ein "START" gefolgt von einem "STOP".

Mit Ausnahme des letzten Signals wurden alle Signale gemeinsam mit einer durch Umrißlinien gebildeten Raute gezeigt. Das letzte Signal wurde gemeinsam mit einer soliden Raute gezeigt. Das letzte Signal wurde für jeweils die Hälfte der Versuchspersonen jeder Bedingung über bzw. unter dem Rahmen gezeigt. Um irrelevante Variation innerhalb der Gruppen zu vermeiden, wurde die Position des Signals im vorletzten Durchgang nicht variiert, sondern es wurde festgelegt, daß die Position die selbe wie im letzten Durchgang sein solle. Die Fragen, die auf dem Monitor im Anschluß an das letzte Signal gezeigt wurden, waren mit denen in Experiment 1 identisch.

Versuchsplan

Die Versuchspersonen wurden zufällig den drei Gruppen (Start vs. Weiter vs. Stop) zugewiesen. Die abhängigen Variablen waren die gleichen wie im vorherigen Experiment.

Ergebnisse

Leistung bei schemakonformen Signalen

Innerhalb von 1200 ms nach dem Startsignal wurde eine durchschnittliche Anzahl von 7.5 Anschlägen ($SD = 1.6$ Anschläge) aufgezeichnet. Der erste Anschlag erfolgte im Durchschnitt 489 ms ($SD = 66$ ms) nach Beginn des Signals. Wie in Experiment 1 wurde im ersten 200 ms Intervall praktisch kein Anschlag registriert. Die asymptotische Anschlagrate wurde etwa 600 ms nach Beginn des Signals erreicht, also etwas später als in Experiment 1. Zwei Unterschiede zwischen den Experimenten legen Erklärungen dieses Sachverhaltes nahe. Erstens bestand im vorliegenden Experiment Unsicherheit über den Erscheinungsort des Signals, ein Umstand, von dem bekannt ist, daß er sich verlangsamen auf die Reaktionszeit auswirkt (z.B. Posner, Nissen & Ogden, 1978). Zweitens wurden im vorliegenden Experiment Wörter als Signale verwendete, die möglicherweise schwerer zu identifizieren sind als die geometrischen Figuren in Experiment 1. Rauten und Quadrate unterscheiden sich in der Orientierung ihrer Kanten (diagonal vs. waagrecht und senkrecht) und Orientierungsinformation können hochgradig effizient genutzt werden (Yantis & Egeth, 1999). Dagegen sind Unterschiede auf elementarerer perzeptueller Ebene zwischen den Wörtern "START" und "STOP" nicht so offensichtlich. Es scheint nur zwei niedrigrangige visuelle Merkmale zu geben, die zwischen den zwei Wörtern unterscheiden: START ist geringfügig länger als STOP und es enthält im Unterschied zu STOP eine etwa 30° aus der Vertikalen gekippte Linie (ein "/") als Teil des Buchstaben "A". Es scheint allerdings eher wenig naheliegend zu sein, diese einfachen visuellen Merkmale zur Unterscheidung der Signale zu verwenden – eher würde man vermutlich das Wort einfach lesen, was jedoch im Vergleich zu einer effizienten Suche längere Zeit in Anspruch nimmt.

Innerhalb 1200 ms nach einem Weisersignal wurden im Durchschnitt 10.6 ($SD = 2.4$) Anschläge registriert. Mit Ausnahme des zweiten 200 ms Intervalls war die Tappingrate recht konstant bei knapp 9 Anschlägen / s; im zweiten 200 ms Intervall betrug die Tappingrate jedoch nur 7.6 Anschläge / s. Eine ähnliche Absenkung der Tappingrate konnte bereits im ersten Experiment beobachtet werden, wo sie allerdings deutlich weniger ausgeprägt war. Eine einfaktorielle ANOVA der Anschläge mit Intervall als Meßwiederholungsfaktor ergab einen signifikanten Haupteffekt, $F(5, 115) = 7.41$, $p < 0.001$, $\epsilon = 0.67$. Anschließende Vergleiche eines jeden Intervalls mit dem nachfolgenden Intervall mittels zweiseitiger t-Tests ergaben, daß sich das zweite Intervall ($M =$

1.53) signifikant vom vorausgehenden ($M = 1.87$) und vom nachfolgenden ($M = 1.75$) unterschied, $t(23) = 3.75$, $p < 0.01$ und $t(23) = 2.67$, $p < 0.05$; die übrigen Tests waren nicht signifikant, $t_s < 1.36$, $p_s > 0.1$. Ein analoges Ergebnis erbrachte die Analyse der ersten sechs ITI. Eine einfaktorielle ANOVA mit Position als Meßwiederholungsfaktor ergab einen signifikanten Haupteffekt, $F(5, 115) = 3.11$, $p < 0.05$, $\varepsilon = 0.71$. Anschließend zweiseitige Vergleiche eines jeden ITI mit dem nachfolgenden ITI ergaben, daß sich das erste ITI signifikant vom zweiten ITI unterscheidet (117 ms vs. 138 ms), $t(23) = 2.47$, $p < 0.05$, während die übrigen ITI keine weiteren signifikanten Unterschiede aufwiesen, $t_s < 1.44$, $p_s > 0.1$. Diese Absenkung ist möglicherweise auf die semantische Verarbeitung der Wörter in diesem Zeitraum zurückzuführen. Eine Interferenz zwischen semantischer Verarbeitung und der Kontrolle von Handlungen ist aufgrund neuropsychologischer Überlegungen für den Fall zu erwarten, daß die Kontrolle der Handlung eine Beteiligung der linken, für die Verarbeitung von Sprache dominanten, Hemisphäre erforderlich macht. Dies ist etwa der Fall, wenn die Aufgabe Bewegungen der rechten Hand beinhaltet oder koordinierte Bewegungen der linken Hand erfordert (Hicks, Provenzano & Ebstein, 1975; Friedman, Polson & Dafoe, 1988). Beide Bedingungen treffen auf die hier verwendete Aufgabe zu.

Die durchschnittliche Anzahl von Anschlägen nach einem Stoppsignal war 3.7 ($SD = 1.16$). Der letzte Anschlag wurde im Durchschnitt nach 334 ms ($SD = 66$ ms) registriert. Die Tappingrate im ersten Intervall nach Beginn des Signals war ebenso hoch wie nach einem Weitersignal; dies deutet darauf hin, daß die minimale Reaktionszeit auf das Signal länger als 200 ms war. Nach 600 ms war die durchschnittliche Tappingrate praktisch null, was darauf schließen läßt, daß das Tapping zu diesem Zeitpunkt fast immer bereits beendet war. Wie bereits für die Startsignale festgestellt werden konnte, erfolgte die Reaktion auch auf die Stoppsignale etwas später als in Experiment 1. Allerdings war auch im vorliegenden Experiment die eSRT ($M = 390$ ms, $SD = 64$ ms) signifikant kürzer als die RT, $t(23) = 6.73$, $p < 0.001$ (zweiseitig).

Leistung bei schemadiskrepanten Signalen

Abbildung 12 zeigt eine Anschlag \times Zeit Darstellung der Leistung der Gruppen Start, Weiter und Stop (linker, mittlerer bzw. rechter Teil der Abbildung) bei dem

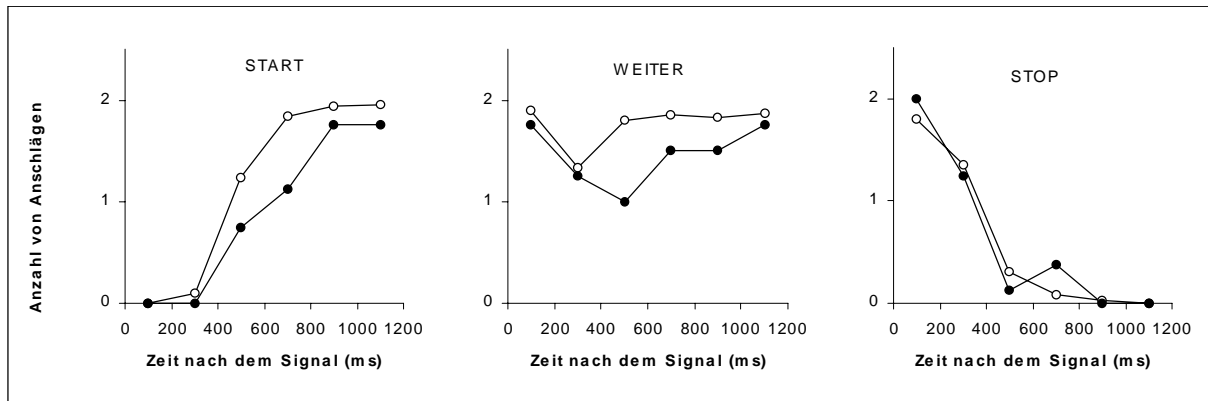


Abbildung 12. Anschläge \times Zeit Darstellung der Leistung nach schemakonformen (offene Kreise) und schemadiskrepanten (ausgefüllte Kreise) Start-, Weiter- und Stoppsignalen in Experiment 2

schemadiskrepanten Signal (ausgefüllte Kreise), und zum Vergleich die Leistung jeweils der selben Versuchspersonen bei den schemakonformen Signalen (offene Kreise).

Wie vorhergesagt erfolgte die Antwort auf das schemadiskrepante Startsignal (linker Teil der Abbildung 12) später als die Antwort auf die schemakonformen Startsignale, was sich in einer signifikant verringerten Anzahl von Anschlägen (5.4 vs. 7.1), $t(7) = 3.87$, $p < 0.01$, sowie in einer Verlängerung der RT (621 ms vs. 490 ms), $t(7) = 2.51$, $p < 0.05$ äußerte.

Der mittlere Teil von Abbildung 12 zeigt, daß auch ein schemadiskrepantes Weitersignal eine veränderte Leistung zur Folge hat. Dies äußerte sich darin, daß die Anschlagrate auch bei einem schemadiskrepanten Weitersignal im Vergleich zum schemakonformen Weitersignal reduziert ist (8.8 vs. 10.7), $t(7) = 2.56$, $p < 0.05$. Eine genauere Untersuchung zeigte, daß die ersten drei Anschläge im Durchschnitt durch das schemadiskrepante Signal kaum beeinflusst wurden, $t_s < 1.36$, $p > 0.20$. Der dritte Anschlag wurde im Durchschnitt 337 ms nach Erscheinen des schemadiskrepanten Signals abgegeben. Während der vierte Anschlag bei den schemakonformen Weitersignalen im Durchschnitt nach 429 ms abgegeben wurde, wurde der vierte Anschlag nach dem schemadiskrepanten Signal im Durchschnitt erst 578 ms nach Erscheinen des Signals abgegeben, also mit einer Verzögerung von 149 ms, $t(7) = 2.32$, $p < 0.05$. Wenn man annimmt (siehe auch Experiment 1), daß die beste Schätzung für den Zeitpunkt der Unterbrechung die Mitte des Intervalls zwischen dem letzten nicht verzögerten Anschlag (337 ms) und dem erwarteten nächsten Anschlag (429 ms) ist, würde sich hieraus eine Schätzung des Zeitpunktes der Unterbrechung von 383 ms ergeben.

Ein Nachteil der vorausgegangenen Analyse zur Bestimmung der Unterbrechung ist, daß die Unterbrechung vermutlich nicht für alle Versuchspersonen nach dem dritten Anschlag erfolgte. Besser wäre es daher, konkret den Anschlag zu bestimmen, der als letzter vor einer Unterbrechung ausgeführt wurde, und den Zeitpunkt dieses Anschlags als Ausgangspunkt für eine Schätzung der Unterbrechungslatenz zu verwenden. Ausgehend von den (vermutlich sehr optimistischen) Annahmen, daß (a) jede Versuchsperson eine Unterbrechung aufweist, daß (b) diese Unterbrechung eine nennenswerte Verlängerung eines ITI zur Folge hat und daß (c) das betroffene ITI länger sein würde als die übrigen im betreffenden Durchgang registrierten ITI, wurde das längste im letzten Durchgang registrierte ITI als Unterbrechung interpretiert. Das längste ITI dauerte im Durchschnitt 286 ms an und war signifikant länger als das zweitlängste ITI im selben Durchgang (157 ms), $t(7) = 2.76$, $p < 0.05$. Der letzte Anschlag vor dem längsten ITI im letzten Durchgang wurde im Durchschnitt nach 335 ms registriert und das Tapping wurde 621 ms nach Beginn des Signals wieder aufgenommen. Legt man ein mittleres ITI nach Weitersignalen von 118 ms (ermittelt über das mittlere ITI nach schemakonformen Weitersignalen) zugrunde und nimmt wieder den Mittelpunkt des Intervalls zwischen dem letzten registrierten Anschlag und dem erwarteten nächsten Anschlag als Schätzwert für die Unterbrechungslatenz, so ergibt sich ein Schätzwert von 394 ms ($335 + [118/2]$).

Folgende Überlegung führt zu einer dritten Schätzung der Unterbrechungslatenz. Wenn die in der Startgruppe gefundene Handlungsverzögerung etwa mit der durchschnittlichen Zeitdauer der kontrollierten Prozesse der Analyse und Bewertung korrespondiert, die nach der Unterbrechung ausgeführt werden und die nicht zeitgleich mit anderen Prozessen durchgeführt werden können, dann sollte sich die Unterbrechungslatenz berechnen lassen als der Zeitpunkt der Wiederaufnahme der Handlung (621 ms) minus die Zeitdauer der kontrollierten Prozesse (131 ms). Diese Berechnung führt zu einer Schätzung der Unterbrechungslatenz von 490 ms. Diese Schätzung weicht von den vorherigen zwei Schätzungen von 383 ms und 394 ms erheblich ab. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß eine Übertragung der Dauer der Handlungsverzögerung von der Gruppe Start auf die Gruppe Weiter nicht ohne weiteres möglich ist. Das dies so sein könnte wird nahegelegt, wenn man die Dauer der Handlungsunterbrechung über die Reduktion der Anzahl der Anschläge schätzt. In den Gruppen Start und

Weiter wurden nach dem überraschenden Signal im Durchschnitt 1.7 bzw. 1.9 Anschläge weniger abgegeben. Legt man eine mittleres ITI von 107 ms (ermittelt über das mittlere ITI nach schemakonformen Startsignalen) bzw. 118 ms (das mittlere ITI für schemakonforme Weitersignale) zugrunde, errechnet sich jedoch nicht eine Unterbrechungsdauer von 131 ms, sondern von 182 ms für die Gruppe Start (1.7×107) bzw. 224 ms für die Gruppe Weiter (1.9×118). Die sich hieraus ergebenden Schätzungen für die Unterbrechungslatenz von 439 (621-182) ms bzw. 397 (621-224) ms stimmen recht gut mit den auf anderen Wegen erhaltenen Schätzungen überein. Insgesamt legen die Daten eine Unterbrechungslatenz von etwa 400 ms nahe.

Der rechte Teil von Abbildung 12 zeigt die Leistung nach einem schemadiskrepanten Stoppsignal. In Übereinstimmung mit den Vorhersagen sowie den Ergebnissen aus Experiment 1 wurde die Antwort auf das Stoppsignal nicht verzögert. Die Anzahl von Anschlägen unterschied sich nicht signifikant im Vergleich zu den schemakonformen Signalen (3.8 vs. 3.8), $t < 1$; in Übereinstimmung damit war auch der Zeitpunkt des letzten Anschlages nicht signifikant gegenüber den schemakonformen Stoppsignalen verzögert (405 ms vs. 328 ms), $t < 1$. Eine Inspektion der Einzeldaten ergab, daß der numerische Unterschied zwischen schemakonformen und schemadiskrepanten Signalen auf eine Versuchsperson zurückgeht, deren letzter Anschlag 501 ms später erfolgte. Wird diese Person in der Analyse nicht berücksichtigt, verschwindet der Unterschied zwischen schemakonformen und schemadiskrepanten Signalen fast vollständig. Wird wiederum das mittlere ITI der schemakonformen Stoppsignale für eine Schätzung der eSRT im kritischen Durchgang verwendet, ergibt sich ein Schätzwert von 461 ms ($405 + [111/2]$) für das Einsetzen der Unterbrechung.

Für einen direkten Vergleich der drei Gruppen wurden die Differenzwerte Δ Anschläge für die Anzahl von Anschlägen zwischen schemakonformen und schemadiskrepanten Signalen berechnet. Eine einfache Varianzanalyse von Δ Anschläge ergab einen signifikanten Haupteffekt, $F(2, 21) = 3.36$, $p < 0.05$. Geplante Vergleiche mittels einseitiger t-Tests ergaben, daß Δ Anschläge in der Gruppe Stop signifikant geringer war als in der Gruppe Start (0.0 vs. 1.7), $t(14) = 2.57$, $p < 0.05$ und ebenfalls signifikant geringer war als in der Gruppe Weiter (0.0 vs. 1.9) $t(14) = 2.16$, $p < 0.05$.

Wie bereits in Experiment 1 wurden alle 200 ms-Intervall-Vergleiche der Anzahl von Anschlägen bei schemakonformen und schemadiskrepanten Signalen durchge-

führt. Auf Grundlage der Unterbrechungshypothese wurden nur Verringerungen in der Anzahl von Anschlägen erwartet, und die Tests wurden daher ausschließlich einseitig durchgeführt. Für die Startbedingung waren diese Vergleiche signifikant für das zweite, das dritte und das vierte Intervall, $t_s > 2.21$, während die anderen Vergleiche nicht signifikant waren, $t_s < 1.36$ (alle t-Tests mit sieben Freiheitsgraden). In der Gruppe Weiter waren die Vergleiche für das zweite Intervall, $t(7) = 2.70, p < 0.05$, und das vierte Intervall, $t(7) = 2.33, p < 0.05$, signifikant, und tendenziell signifikant für das dritte Intervall $t(7) = 1.75, p < 0.10$. Die übrigen Vergleiche in dieser Bedingung waren nicht signifikant, $t_s < 1$. Die Ergebnisse in der Gruppe Weiter befinden sich daher in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Gruppe Start: die Ergebnisse beider Gruppen legen nahe, daß die ersten Effekte des überraschenden Reizes auf das Tapping zwischen 200-400 nach seinem Beginn einsetzen und nach 600 ms nicht mehr bemerkbar sind. In der Gruppe Stop gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen schemakonformen und schemadiskrepanten Signalen.

Überraschungsskalierungen

Alle Teilnehmer gaben an, die dunklere Darstellung des letzten Signals bemerkt zu haben. Es gab keine Unterschiede in den Überraschungsskalierungen zwischen den drei Gruppen, $F(2, 21) < 1$. Die durchschnittliche Überraschungsskalierung betrug 5.7.

Diskussion

Experiment 2 repliziert und erweitert die Ergebnisse von Experiment 1. Das grundlegende Ergebnis von Experiment 1 war, daß gleichartige überraschende Ereignisse zwar den Beginn einer Handlung verzögern können, jedoch nicht zu einer Verzögerung der Beendung einer Handlung führen. Dieses Ergebnis konnte in Experiment 2 repliziert werden. Wie bereits im vorausgegangenen Experiment zeigte sich in der Gruppe Stop keine der Gruppe Start entsprechende Handlungsverzögerung. Diese Aussage stützt sich auf zwei Ergebnisse: erstens war der Zeitpunkt des letzten Anschlags nach dem schemadiskrepanten Stoppsignal nicht signifikant später als nach dem schemakonformen Stoppsignal; und zweitens zeigte sich 400-600 ms sowohl nach einem schemadiskrepanten Startsignal wie auch nach einem schemadiskrepanten Weitersignal eine signifikante Verringerung der Anschlagrate, nicht jedoch nach einem schemadiskrepanten Stoppsignal (vergleiche auch Abbildung 12).

In Experiment 1 bestand das überraschende Ereignis in einer Veränderung der Darstellung des handlungsrelevanten Start- bzw. Stopsignals. Dieses Merkmal der Versuchsanordnung ließ es möglich erscheinen, daß es den Versuchspersonen unklar war, ob es sich bei dem jeweiligen Signal überhaupt noch um ein Signal im Sinne der Instruktion handelte. Als Folge dieser Unklarheit könnten die Versuchspersonen nicht gewußt haben, wie sie auf dieses neue und durch die Instruktion nicht definierte Signal reagieren sollten und sich daher für einen Abbruch des Tappings entschieden haben. Im Unterschied zu Experiment 1 war das überraschende Ereignis im vorliegenden Experiment eine Veränderung eines handlungsirrelevanten visuellen Kontextelementes, während die Erscheinung des gleichzeitig dargebotenen handlungsrelevanten Signals nicht verändert wurde. Für die Versuchspersonen in Experiment 2 bestand daher keine Handlungsunsicherheit in bezug auf das im letzten Durchgang dargebotene Signal, dessen Erscheinung nicht verändert wurde. Ein Vergleich der Leistung der Startgruppen in den zwei Experimenten legt allerdings nahe, daß die unterschiedlich stark ausgeprägte Handlungsunsicherheit einen deutlichen Einfluß auf die Dauer der Handlungsunterbrechung hat, denn diese Dauer war bei unverändertem Startsignal im vorliegenden Experiment wesentlich geringer als bei dem veränderten Startsignal im vorherigen Experiment. Dieses Ergebnis stimmt überein mit den Daten von Meyer et al. (1997), die ebenfalls länger andauernde Handlungsverzögerungen bei handlungsrelevanten gegenüber handlungsirrelevanten schemadiskrepanten Ereignissen fanden.

Zu einem früheren Zeitpunkt innerhalb dieser Arbeit wurde bemängelt, daß die im Diskreten Paradigma durchgeführten Experimente keine überzeugende Demonstration einer Unterbrechungsfunktion der Überraschung erbringen. Hierfür, so wurde ausgeführt, ist es zumindest notwendig, daß die zu unterbrechende Handlung deutlich vor Darbietung des überraschenden Reizes begonnen und nicht bereits wieder beendet wurde. Diese notwendige Bedingung für die Demonstration einer Unterbrechung wurde in den Stop Bedingungen der Experimente 1 und 2 zwar erfüllt; da jedoch gleichzeitig mit dem überraschenden Ereignis ein Stopsignal dargeboten wurde, kann die Unterbrechung in diesen Gruppen nicht eindeutig auf das überraschende Ereignis zurückgeführt werden, denn die Versuchspersonen könnten auch aufgrund des Stopsignals das Tapping beendet haben. Experiment 2 beinhaltete erstmalig eine Gruppe, in der das überraschende Ereignis gleichzeitig mit einem Signal zum weitertippen eintrat; abgesehen vom

überraschenden Reiz gab es in dieser Gruppe daher keinen Grund das Tapping zu unterbrechen. Auf Grundlage der Unterbrechungshypothese war vorhergesagt worden, daß in dieser Gruppe das Tapping zumindest kurzzeitig unterbrochen werden würde und daß als Folge davon die Anzahl registrierter Anschläge nach Darbietung des überraschenden Reizes verringert sein würde. Die Ergebnisse befinden sich in vollständiger Übereinstimmung mit dieser Vorhersage. Ein bemerkenswertes Detail des Ergebnisses in dieser Versuchsbedingung ist, daß die Versuchspersonen das Tapping nicht nur offenbar in Abwesenheit eines Stoppsignals unterbrachen, sondern daß diese Unterbrechung in Gegenwart eines Weitersignals stattfand. Mit anderen Worten: in dieser Bedingung ignorierten die Versuchspersonen offenbar kurzzeitig eine explizite Aufforderung das Tapping fortzusetzen. Setzt man voraus, daß die Versuchspersonen beabsichtigten, die zu Beginn des Experimentes gegebene Instruktion zu befolgen, handelten sie hier offensichtlich gegen ihre vorauslaufend gebildete Intention. Ein solches Verhalten, das der eigentlichen Intention zuwiderläuft, wird von vielen Autoren als kennzeichnend für einen automatischen Prozeß angesehen.

Die hier erstmals verwirklichte Gruppe Weiter ermöglicht weiterhin eine von der Gruppe Stop unabhängige Schätzung der Latenz der Unterbrechungsfunktion. Eine solche Schätzung ist sehr wichtig, weil – wie bereits gesagt – für die Beendung des Tappings bei einer Person mit schemadiskrepantem Stoppsignal zwei Ursachen in Frage kommen: erstens könnte sie durch das überraschende Ereignis unterbrochen werden und zweitens könnte sie auf das Stoppsignal antworten. Da in der Gruppe Weiter kein Stoppsignal dargeboten wird, kommt als Ursache für eine Unterbrechung nur das überraschende Ereignis in Frage. Es wurden verschiedene Vorgehensweisen angewendet, die – mit den zu erwartenden Variationen – relativ übereinstimmend einen Wert von etwa 400 ms ergaben. Dieser Wert ist etwa gleich groß wie die für die schemakonformen Signale berechnete eSRT von 390 ms. Es scheint also, als ob die Latenz der Unterbrechungsfunktion und die Latenz einer willkürlichen Unterbrechung auf ein Stoppsignal etwa gleich groß ist.

Experiment 3

In den Experimenten 1 und 2 war die eSRT signifikant und substantiell geringer als die RT. Dies ermöglicht unter Zuhilfenahme des Wettlauf-Modells folgende Erklä-

rung des grundlegenden Befundes einer verzögerten Antwort auf das Startsignal und einer nicht verzögerten Antwort auf das Stoppsignal. Eine Antwort wird nach dem Wettlauf-Modell dann verzögert, wenn die Unterbrechungslatenz u geringer ist als die Initiierungslatenz der Antwort i . Wenn die RT im Durchschnitt länger ist als die SRT, sollte entsprechend die Bedingung $i > u$ für einen größeren Anteil der Versuchspersonen in der Gruppe Start als in der Gruppe Stop erfüllt sein. Die *durchschnittliche* Verzögerung in den zwei Gruppen Start und Stop ist jedoch abhängig von dem *Anteil* an Versuchspersonen, die überhaupt eine Verzögerung zeigen. Dies bedeutet jedoch, daß allein schon aufgrund der höheren Dauer der RT gegenüber der SRT eine stärkere durchschnittliche Verzögerung der Antwort in der Gruppe Start als in der Gruppe Stop zu erwarten ist. Tatsächlich kann der Anteil der Versuchspersonen, für den die Bedingung $i > u$ gilt, für die Gruppe Stop relativ genau bestimmt werden. Nach den Ergebnissen von Experiment 1 und 2 sind die Latenzen der Unterbrechungsfunktion einerseits und einer willentlichen Antwort auf ein Stoppsignal etwa gleich groß (mit anderen Worten: im Durchschnitt ist $i = u$). Dies bedeutet, daß etwa 50% der Versuchspersonen in der Gruppe Stop das Tapping unterbrachen, weil sie auf das Stoppsignal antworteten.

Um zu zeigen, daß ein überraschendes Ereignis tatsächlich allein ausreicht, um eine Handlungen zu unterbrechen, ist es offenbar notwendig, während der Ausführung einer Handlung ein überraschendes Ereignis darzubieten, das nicht von einem konventionellen Stoppsignal begleitet wird. Mit der Gruppe Weiter im vorherigen Experiment wurde eine erste Versuchsbedingung, die diese Anforderung erfüllt, berücksichtigt, und die Ergebnisse befanden sich tatsächlich in Übereinstimmung mit der Unterbrechungshypothese. In Experiment 3 soll erstmalig ein überraschendes Ereignis während der Ausführung einer Handlung dargeboten werden, das von überhaupt keinem Signal begleitet wird. Wie in Experiment 2 wurde in jedem Durchgang eine Raute und ein Signal gezeigt, und die Erscheinung der Raute wurde im kritischen (letzten) Durchgang verändert. Im Unterschied zu Experiment 2 wurde die Raute jedoch nur in der Hälfte aller Durchgänge zeitgleich mit dem Wort gezeigt, in den übrigen Durchgängen erschien die Raute 500 ms vor dem Wort. Es gab zwei experimentelle Gruppen, in denen jeweils im kritischen (letzten) Durchgang ein Stoppsignal gezeigt wurde. In der ersten Gruppe (SOA = 0 ms) wurde das Stoppsignal gleichzeitig mit der Raute gezeigt, während in der zweiten Gruppe (SOA = 500 ms) das Stoppsignal 500 ms nach der Raute gezeigt wurde. Die

zentrale Hypothese dieses Experimentes war, daß eine Unterbrechung des Tappings in der Gruppe mit 500 ms SOA bereits vor der Darbietung des Stoppsignals erfolgt. Genauer gesagt wurde für die 500 ms SOA Gruppe erwartet, die Anschlagrate im kritischen Durchgang bereits vor Darbietung des Stoppsignals geringer ist als in vergleichbaren Durchgängen mit unveränderter Raute. Diese bereits zu einem frühen Zeitpunkt erfolgende Unterbrechung sollte zudem den Effekt haben, daß im kritischen Durchgang deutlich weniger Anschläge registriert werden als in vergleichbaren Durchgängen mit unveränderter Raute. Im Gegensatz dazu wurde für die 0 ms SOA Gruppe erwartet, daß die Unterbrechung im kritischen Durchgang zu etwa dem gleichen Zeitpunkt erfolgen würde wie in den vergleichbaren Durchgängen mit unveränderter Raute und das im kritischen Durchgang daher auch etwa gleich viele Anschläge registriert werden wie in vergleichbaren Durchgängen mit unveränderter Raute.

Methode

Versuchspersonen

Vierundzwanzig Studierende verschiedener Disziplinen (12 Frauen und 12 Männer) nahmen an der Untersuchung teil. Das Experiment war den Versuchspersonen als Reaktionszeitaufgabe von etwa fünf Minuten Dauer angekündigt worden, für deren Bearbeitung sie 2 DM erhalten würden. Das durchschnittliche Alter der Versuchspersonen betrug 23.3 ($SD = 3.9$) Jahre. Keine der Personen hatte nach eigenem Bekunden zuvor an einem Überraschungsexperiment teilgenommen.

Material und Reize

Material und Reize waren die gleichen wie in Experiment 2.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf war mit dem von Experiment 2 bis auf die folgenden Veränderungen identisch. Erstens wurde die Instruktion derart verändert, daß die Versuchspersonen darüber informiert wurden, daß die Raute "kurz vor oder gleichzeitig mit jedem Signal" erscheinen würde. Zweitens erschien das Wort gleichzeitig mit der Raute oder 500 ms nach der Raute, verschwand jedoch stets gleichzeitig mit der Raute. Die Raute erschien dabei wie in Experiment 2 für eine Sekunde und zwischen zwei aufein-

anderfolgenden Rauten war der Rahmen für eine Sekunde lang leer. Die Aufzeichnung der Antworten begann jeweils mit der Darbietung der Raute. Drittens waren der 40 Durchgänge umfassende Übungsblock, der 40 Durchgänge umfassende erste Experimentalblock sowie die Durchgänge 1-24 des zweiten Experimentalblocks konstruiert als orthogonale Kombination der zwei Wörter (START und STOP), der zwei Positionen (über oder unter dem Rahmen) und der zwei SOA (0 ms und 500 ms). Im 25. Durchgang wurde die Raute letztmalig durch ihre Umrißlinien gebildet und im 26. Durchgang erstmalig als schwarze Fläche dargestellt. Die Position des Signals und das SOA waren in den zwei Durchgängen 25 und 26 immer gleich.

Versuchsplan

Die Versuchspersonen wurden zufällig den zwei SOA Bedingungen (0 ms vs. 500 ms) zugewiesen. Die Position des Signals war innerhalb der Gruppen ausbalanciert, jeweils die Hälfte der Versuchspersonen jeder SOA Bedingung erhielt das Signal also über bzw. unter dem Rahmen.

Behandlung der Daten

Die Analyse der Daten erfolgte nach den gleichen Prinzipien wie in den vorherigen Experimenten mit Ausnahme des Umstandes, daß für die Anschläge \times Zeit Analyse Zeitintervalle von 250 ms (anstelle von Zeitintervallen von 200 ms wie in den vorherigen Experimenten) gebildet wurden. Dies geschah, um den zwei Beschränkungen zu genügen, daß erstens alle Intervalle die gleiche Dauer haben sollten und zweitens der Beginn der Raute und der Beginn des Wortes jeweils mit dem Beginn eines Intervalls zusammenfallen sollte. Bei der gewählten Dauer von 250 ms war dies für beide SOA möglich, wobei der Zeitraum zwischen Raute und Wort bei einem SOA = 500 ms in zwei gleich große Intervalle geteilt wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Leistung bei schemakonformen Signalen

Abbildung 13 zeigt die Zeit \times Anschläge Darstellung der Tappingrate bei Start-, Weiter- und Stopsignalen (linker, mittlerer bzw. rechter Teil der Abbildung). Durchgänge mit einem SOA = 0 ms werden durch ununterbrochene Linien dargestellt, wäh-

rend Durchgänge mit einem $\text{SOA} = 500$ ms durch gestrichelte Linien dargestellt werden. Zeitpunkt Null ist der Beginn der Darbietung der Raute. Die Abbildung legt nahe, daß die Versuchspersonen die Aufgabe im Sinne der Instruktion bearbeiteten. Entsprechend ist die Form der Graphen in den zwei SOA Bedingungen praktisch identisch, wobei die Graphen der $\text{SOA} = 500$ ms Bedingung gegenüber der $\text{SOA} = 0$ ms Bedingung um zwei 250 ms Intervalle verschoben sind. Die mittlere RT auf ein Startsignal mit $\text{SOA} = 0$ ms war praktisch identisch mit der RT auf ein Startsignal mit $\text{SOA} = 500$ ms (490 ms vs. 486 ms), $t < 1$; auch die Zeit des letzten Anschlags nach einem Stoppsignal unterschied sich nicht signifikant in Abhängigkeit vom SOA (353 ms vs. 325 ms), $t(23) = 1.55$, $p > 0.10$. Das durchschnittliche ITI war numerisch fast gleich in Durchgängen mit $\text{SOA} = 0$ ms und $\text{SOA} = 500$ ms (106 ms vs. 107 ms); die Differenz war allerdings signifikant, $t(23) = 2.63$, $p < 0.05$ (alle vorauslaufend berichteten t-Tests wurden zweiseitig durchgeführt). Wie in den vorherigen Experimenten war eSRT (406 ms und 379 ms für die SOA von 0 ms bzw. 500 ms) signifikant kürzer als die RT, $t_s > 5.14$, $p_s < 0.001$.

Leistung bei schemadiskrepanzen Signalen

Abbildung 14 zeigt die Anschläge \times Zeit Darstellung der Tappingrate für die zwei Bedingungen ($\text{SOA} = 0$ ms im linken Teil der Abbildung und $\text{SOA} = 500$ ms im rechten Teil der Abbildung) im kritischen Durchgang (ausgefüllte Kreise), und zum

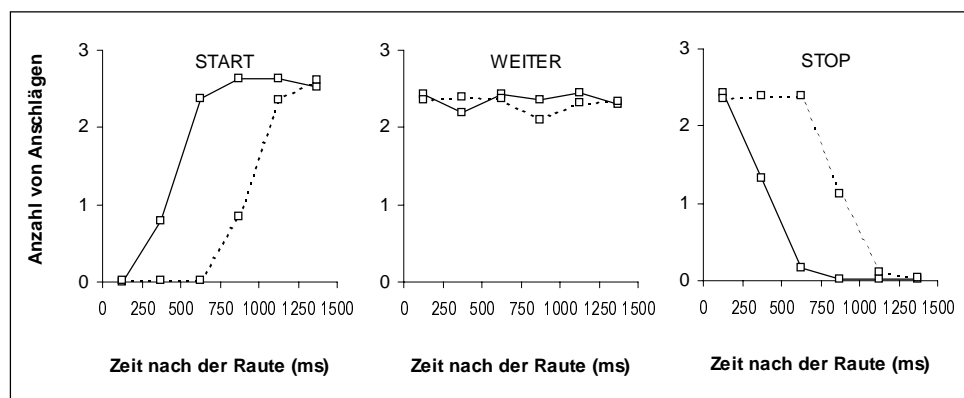


Abbildung 13. Zeit \times Anschläge Darstellung der Leistung in Start-, Weiter- und Stop-durchgängen für die zeitgleiche Darbietung von Raute und Signal (durchgezogene Linien) sowie die um 500 ms verzögerte Darbietung des Signals (gestrichelte Linien) in Experiment 3

Vergleich die Leistung der selben Versuchspersonen in den vorausgegangenen Durchgängen mit dem gleichen SOA (offene Kreise). Wenn die Raute und das Signal gleichzeitig begannen (linker Teil der Abbildung), wurde im kritischen Durchgang gegenüber den vorangegangenen Durchgängen eine signifikant geringere Anzahl von Anschlägen registriert (3.3 vs. 4.2), $t(11) = 4.23$, $p < 0.01$. Eine Analyse des Zeitpunktes des letzten Anschlags erbrachte ein analoges Ergebnis, mit einem frühen Zeitpunkt im kritischen Durchgang gegenüber den vorangegangenen Durchgängen (278 ms vs. 366 ms), $t(11) = 4.11$, $p < 0.01$.

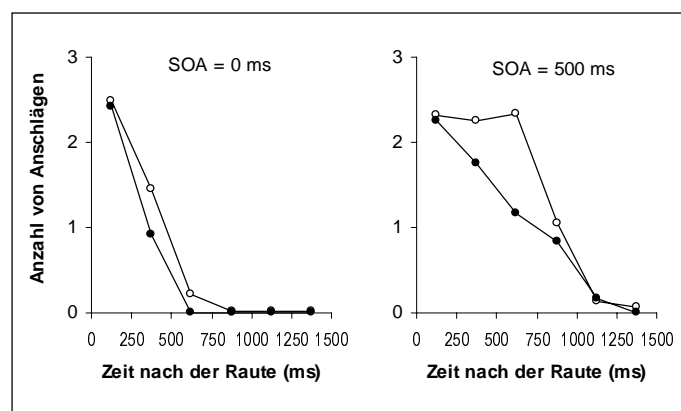


Abbildung 14. Zeit \times Anschläge Darstellung der Leistung im kritischen Durchgang nach Darbietung einer schemadiskrepanten Raute (ausgefüllte Kreise) für die zwei experimentellen Bedingungen in Experiment 3. Zum Vergleich ist die Leistung jeweils der gleichen Versuchspersonen in den vorausgegangenen Durchgängen mit schemakonformen Reizen dargestellt (offene Kreise)

Die Ergebnisse zeigen also, daß in der Gruppe mit einem SOA von 0 ms das Tapping im kritischen Durchgang schneller beendetet wurde als in den vorausgegangenen Durchgängen. Obwohl nicht sicher ausgeschlossen werden kann, daß dieses Ergebnis die Folge eines Übungseffektes ist, scheint diese Möglichkeit eher unwahrscheinlich zu sein, da die Anzahl der Versuchsdurchgänge die gleiche war wie in Experiment 2, in dem kein Übungseffekt beobachtet werden konnte. Der hauptsächliche Unterschied in der Vorgehensweise im Vergleich zu Experiment 2 besteht in der Einführung eines variablen SOA zwischen der Raute und dem Signal. Zeitliche Unsicherheit ist eine bekannte Ursache für eine Verlangsamung der Beantwortung eines Reizes (z.B. Brebner

& Welford, 1980; Bertelson & Boons, 1960). Damit zeitliche Unsicherheit für eine Erklärung des Ergebnisses herangezogen werden kann, muß jedoch angenommen werden, daß die zeitliche Unsicherheit einen größeren Einfluß auf die intentionale Beantwortung der Stoppsignale hat als auf die Unterbrechungsfunktion. Solch eine Unempfindlichkeit gegenüber Einflußgrößen, die normalerweise intentionale Prozesse beeinflussen, werden als Kennzeichen automatischer Prozesse angesehen, wie dies beispielsweise für eine unwillkürliche Orientierung der Aufmerksamkeit demonstriert wurde (Jonides, 1981). Eine weitere, nicht notwendigerweise alternative, Erklärung könnte darin bestehen, daß bei einer asynchronen Darbietung von Raute und Signal die Raute als zeitlicher Hinweisreiz für das Signal verwendet werden kann. Dies könnte eine Strategie für die Bearbeitung der Aufgabe nahegelegt haben, die Raute routinemäßig zuerst zu beachten, was der Überraschungsreaktion optimale Ausgangsbedingungen geschaffen haben könnte.

Von hauptsächlichem Interesse ist jedoch die Gruppe mit einem SOA = 500 ms (vergleiche den rechten Teil der Abbildung 14). Die Anzahl insgesamt registrierter Anschläge im kritischen Durchgang war geringer als in den vorangegangenen Durchgängen (6.17 vs. 8.16), $t(11) = 2.18$, $p < 0.05$. Entsprechend waren auch die Zeiten des letzten Anschlags im kritischen Durchgang geringer als in den vorausgegangenen Durchgängen (197 ms vs. 336 ms); dieser Unterschied war jedoch nur tendenziell signifikant, $t(11) = 1.47$, $p < 0.10$, was offenbar auf die hohe Varianz innerhalb der Gruppe zurückgeht (die Standardabweichung für die Zeit des letzten Anschlags im kritischen Durchgang war in dieser Gruppe mit 329 ms mehr als vier mal so groß wie in der anderen Gruppe). Eine Betrachtung der Einzeldaten ergab, daß ein Drittel der Teilnehmer das Tapping beendete, bevor das Signal dargeboten wurde. Eine mögliche Erklärung dieses Ergebnismusters aus Sicht der Unterbrechungshypothese wäre, daß die übrigen Versuchspersonen ihr Tapping nur kurzzeitig unterbrachen und nicht etwa vollständig abbrachen.

Bei der Planung der Untersuchung war ich davon ausgegangen, daß die in der SOA = 500 ms Gruppe bereits 500 ms vor dem eigentlichen Stoppsignal einsetzende Unterbrechung dazu führen würde, daß diese Gruppe das Tapping früher beenden würde als die SOA = 0 ms Gruppe. Dies war jedoch nicht der Fall. Weder war die Differenz der Anschläge im kritischen Durchgang gegenüber den Durchgängen der Schemabil-

dungsphase in der 500 ms SOA Bedingung signifikant geringer als in der 0 ms SOA Bedingung (2.0 vs. 0.9), $t(22) = 1.19$, $p > 0.10$, noch die Differenz im Zeitpunkt des letzten Anschlages signifikant zwischen den Gruppen (139 ms vs. 88 ms), $t < 1$.

Beide Gruppen stoppten offenbar im kritischen Durchgang früher als in der Schemabildungsphase, und unterschieden sich darüber hinaus nicht signifikant voneinander. Dieses Ergebnis könnte man zum Anlaß nehmen, allein Übungseffekte für ein in beiden Gruppen signifikant früheres Stoppen im kritischen Durchgang verantwortlich zu machen. Diese Interpretation berücksichtigt jedoch nicht, daß das Tapping in der 500 ms SOA Gruppe – in Übereinstimmung mit den Hypothesen – in den 250 ms Intervallen *vor und unmittelbar nach* dem Stoppsignal signifikant reduziert war, $t(11) = 2.19$, $p < 0.05$, und $t(11) = 3.85$, $p < 0.01$, während das Tapping in der 0 ms SOA Gruppe erst 250-500 ms und 500-750 ms nach dem Stoppsignal reduziert war, $t(11) = 2.59$, $p < 0.05$, und $t(11) = 5.02$, $p < 0.001$ (vgl. Abbildung 14). Die weiteren Vergleiche waren nicht signifikant, $t_s < 1$ in der 0 ms SOA Gruppe und $t_s < 1.59$ in der 500 ms SOA Gruppe.

Das Ziel von Experiment 3 war, die unterbrechende Wirkung von Überraschung zu demonstrieren, ohne daß diese Unterbrechung auch als eine instruktionsgemäße Antwort auf ein vorher verabredetes Stoppsignal interpretiert werden kann. Zu diesem Zweck wurde die in Experiment 2 verwendete Versuchsanordnung so variiert, daß die im kritischen Durchgang verändert dargestellte (handlungsirrelevante) Raute entweder zeitgleich mit dem Signal erschien oder 500 ms vor dem Signal. Die in der 500 ms SOA gefundene Reduktion des Tappings bereits vor Darbietung des Stoppsignals stellt eine solche Demonstration der unterbrechenden Wirkung von Überraschung dar. Gleichzeitig fand sich in der 0 ms SOA Gruppe eine signifikante Beschleunigung der Schnelligkeit des Abbruchs im Vergleich zu entsprechenden Durchgängen mit unveränderter Raute. Dieses Ergebnis läßt darauf schließen, daß die Latenz der Unterbrechungsfunktion im Durchschnitt etwas niedriger liegt als die eSRT, die in diesem Falle 406 ms betrug. Diese Einschätzung deckt sich mit den vorangegangenen Experimenten, in denen diese Latenz ebenfalls auf einen Wert knapp unterhalb von 400 ms geschätzt wurde.

Überraschungsskalierungen

Alle Versuchsteilnehmer gaben an, die Veränderung der Raute im letzten Durchgang bemerkt zu haben. Es gab keine Unterschiede in den Überraschungsskalie-

rungen zwischen den Gruppen, $t < 1$. Die Höhe der Überraschungsskalierung betrug im Durchschnitt 5.3 Skalenpunkte.

Gemeinsame Diskussion der Experimente 1-3

Die bisher dargestellten drei Experimente dienten zwei wichtigen Zielen. Erstens wurde ein in der Überraschungsforschung vollständig neuartiges Vorgehen erprobt, wobei die Versuchspersonen insbesondere eine kontinuierliche anstelle einer diskreten Aufgabe ausführen mußten. Unter einem eher methodischen Blickwinkel war es dabei ein wichtiger Erfolg, daß in den Start-Gruppen der Experimente 1 und 2 die aus dem Diskreten Paradigma bekannte Reaktionszeitverzögerung repliziert werden und somit eine Kontinuität mit den früheren Experimenten hergestellt werden konnte. Weiterhin zeigte sich, daß die Tappingaufgabe gut für Untersuchungen über das Beenden von Handlungen geeignet ist, wobei insbesondere mit der geschätzten Stopreaktionszeit (eSRT) ein zeitlicher Parameter gemessen werden kann, der zur sonst gebräuchlichen Reaktionszeit analog ist. Hierbei ergab sich als ein über alle drei Experimente konstant nachweisbarer Effekt, daß eine Handlung offenbar schneller beendet als begonnen werden kann. Die mehrfache Replikation dieses Effektes, dessen inhaltliche Bedeutung nachfolgend diskutiert werden soll, unterstreicht die Zuverlässigkeit der hier erstmalig verwendeten Vorgehensweise.

Das zweite und wichtigere Ziel der Experimente 1-3 war die Untersuchung der Unterbrechungsfunktion der Überraschung. Die Experimente zeigten insbesondere, daß (a) Überraschung mit der Antwort auf ein Startsignal interferiert, nicht jedoch mit der Reaktion auf ein Stoppsignal, und daß (b) ein überraschendes Ereignis während des Tappings offenbar selbst dann eine Unterbrechung des Tappings hervorruft, wenn gleichzeitig eine Aufforderung zur Fortführung des Tappings gezeigt wird, oder wenn überhaupt kein auf das Tapping bezogenes Signal erscheint. Vor allem das Ergebnis aus Experiment 3, daß ein überraschendes Ereignis allein die Ausführung einer Handlung zu unterbrechen vermag, stellt einen deutlichen Beleg für die unterbrechende Wirkung von Überraschung dar.

Die Daten der Experimente 1-3 lassen darauf schließen, daß die Latenz der Unterbrechungsfunktion der Überraschung bei etwa 330-400 ms liegt. Die Latenz der Unterbrechung im kritischen Durchgang war in jedem Experiment geringer als die RT und

lag in etwa der gleichen Größenordnung wie die SRT. Dieses Ergebnis hat Auswirkungen auf die Interpretation der experimentellen Bedingungen, in denen das überraschende Ereignis zeitgleich mit dem Stoppsignal dargeboten wurde. Genauer gesagt bedeutet es, daß die Unterbrechung des Tappings im kritischen Durchgang bei etwa der Hälfte der Versuchspersonen vermutlich eine Antwort auf das Stoppsignal und nicht auf das überraschende Ereignis war. Dies unterstreicht die Bedeutung von Versuchsbedingungen, in denen (wie in Experiment 3) ein überraschender Reiz ohne gleichzeitige Darbietung eines Stoppsignals erscheint. Offensichtlich können nur solche Versuchsbedingungen einen eindeutigen Beleg für die durch ein überraschendes Ereignis hervorgerufene Unterbrechung erbringen, in denen der überraschende Reiz nicht gleichzeitig mit einem Stoppsignal gezeigt wird. An dieser Stelle sei bereits erwähnt, daß in den nachfolgend dargestellten Experimenten 4 und 5 der überraschende Reiz stets allein gezeigt wurde, so daß hinsichtlich des Auslösers der Unterbrechung in diesen zwei Experimenten keine Mehrdeutigkeit besteht.

Im folgenden soll nun ein Ergebnis diskutiert werden, das für die eigentliche Fragestellung dieser Untersuchung eher randständig ist, das sich andererseits mit aller Deutlichkeit zeigte: die Latenz einer Beendigung des Tappings war deutlich kürzer als die Latenz, mit der das Tapping begonnen wurde. Bevor dieses Ergebnis inhaltlich diskutiert wird, soll zunächst erörtert werden, ob der Effekt "echt" ist oder ob dieser Effekt lediglich ein Artefakt darstellt, das aus der Weise resultiert, wie die eSRT hier gemessen bzw. geschätzt wurde. Um es kurz zu wiederholen: Da der Fortgang der eigentlich kontinuierlichen Handlung des Tappings – technisch gesprochen – mit einer beschränkten Samplingrate von etwa 8-10 Hz erhoben wurde, besteht eine Unsicherheit über den genauen Zeitpunkt, zu dem das Tapping abgebrochen wurde. Mit anderen Worten: weil pro Sekunde nur acht bis zehn Anschläge während des Tappings erfolgten, war es nur etwa alle 100-120 ms möglich festzustellen, ob das Tapping noch ausgeführt wurde oder nicht. Zu welchem Zeitpunkt innerhalb dieses Intervalls von 100-120 ms *genau* ein Abbruch erfolgt, kann jedoch nicht bestimmt werden. Dieser Zeitpunkt könnte im kürzesten Fall unmittelbar nach dem letzten Anschlag sein, im längsten Fall dagegen kurz vor dem nächsten Anschlag. Die kürzeste Schätzung ergibt sich daher als Zeitpunkt des letzten Anschlags, und die längste Schätzung als Zeitpunkt des letzten Anschlags plus das mittlere ITI. Ohne weitere Informationen schien die Mitte dieses Intervalls die ein-

zige zu rechtfertigende Schätzung von SRT zu sein. Obwohl also die absolute Größe des Unterschiedes zwischen SRT und RT von den Annahmen abhängt, die für eine Schätzung von SRT getroffen werden müssen, ist die Differenz zwischen eSRT und RT allerdings doch stets so groß gewesen, daß die eSRT in allen drei Experimenten selbst dann kleiner als die RT wäre, wenn die längste Schätzung verwendet wird, bei der zum Zeitpunkt des letzten Anschlags das vollständige ITI addiert würde. Abgesehen davon, daß ein solches Vorgehen theoretisch schwer zu rechtfertigen wäre, würde die Differenz zwischen RT und eSRT also immer noch eine Erklärung erfordern.

Nachdem nun begründet wurde, daß die Differenz zwischen RT und eSRT mit hoher Wahrscheinlichkeit "echt" ist, läßt sich als nächstes die Frage stellen, ob ähnliche Differenzen zwischen SRT und RT bereits früher von anderen Autoren berichtet worden sind. Ich habe jedoch in der Literatur keine Studie gefunden, in der die Zeiten verglichen worden sind, die für den Start bzw. das Beenden der *gleichen* Handlung benötigt werden. So verlangten einige Untersuchungen mit Stoppsignalen nicht die Unterbrechung, sondern das Zurückhalten einer Handlung, meist eines Tastendrucks (z.B. Logan & Cowan, 1984; Logan et al., 1984; Slater-Hammel, 1960); andere Arbeiten untersuchten die Unterbrechbarkeit von anderen Vorgängen als sichtbaren Handlungen – etwa das Finden von Reimwörtern, Urteile über die kategoriale Zugehörigkeit von Reizen oder einfache arithmetische Operationen – bei denen SRT und RT nicht direkt gemessen werden können (z.B. Logan, 1983, 1985; Zbrodoff & Logan, 1986); und es gibt Studien in denen zwar die Zeit für das Beenden einer Bewegung, nicht jedoch die Zeit für den Beginn der Bewegung berichtet wird (z.B. Vince & Welford, 1967; Ladefoged, Silverstein & Papcun, 1973). Es scheint, als ob die Differenz zwischen SRT und RT in der hier vorliegenden Untersuchung erstmalig festgestellt wurde und daher nicht mit Ergebnissen aus früheren Arbeiten verglichen werden kann.

Die Differenz zwischen SRT und RT läßt sich auf verschiedene Weise erklären. Erstens beinhalten Reaktionszeiten unter anderem die Zeitdauer, die eine Organisation (Programmierung) der auszuführenden Bewegung erfordert, und diese Zeitdauer ist um so länger, je komplexer diese Bewegung ist (Henry & Rogers, 1960). Intuitiv scheint das Ende des Tappings einfacher zu organisieren zu sein als die Ausführung des Tappings. Beispielsweise könnte für einen Beginn des Tappings die Koordination zwischen verschiedenen Teilprozessen – wie etwa die Koordination eines internalen Zeitgebers

und den motorischen Prozessen – notwendig sein, während das Beenden des Tappings einfach durch eine Unterbrechung dieser Koordination hervorgerufen werden könnte (Logan, 1982). Weiterhin ist die Reaktionszeit offenbar eine monotone Funktion der Anzahl an Komponenten der Bewegung. So steigt beispielsweise die Reaktionszeit für das Aussprechen von zwei bis fünf Wörtern linear mit der Anzahl der betonten Silben an, und die Reaktionszeit für das ein- oder zweihändige Maschineschreiben steigt mit der Anzahl der zu tippenden Buchstaben an (Sternberg, Monsell, Knoll & Wright, 1978). Sternberg et al. (1978) fanden dabei eine bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen verschiedenen Experimenten für den Steigungskoeffizienten von durchschnittlich etwa 10 ms pro Bewegungskomponente. Mit anderen Worten: die Reaktionszeit verlängerte sich über verschiedene Experimente hinweg für jedes zusätzlich zu programmierende Element der Bewegung um etwa 10 ms. Unter den Annahmen, daß (a) eine Übertragung dieses Steigungskoeffizienten auf die vorliegenden Experimente möglich ist, daß (b) sich Starten und Stoppen in der Anzahl von zu programmierenden Elementen unterscheiden und daß (c) die hieraus resultierenden Unterschiede als einzigen Unterschied zwischen RT und SRT erklären, ließe sich die Anzahl an Elementen schätzen, die von den Versuchspersonen bei jedem Startsignal programmiert wird. Die Differenzen zwischen RT und SRT variierten in verschiedenen Experimenten zwischen 68 ms und 107 ms, würde man dann entsprechend annehmen, daß die Versuchspersonen zwischen sechs und zehn Elemente mehr programmieren als beim Stoppen. Eine nicht unplausible Interpretation dieses Ergebnisses könnte darin bestehen, daß die Versuchspersonen vor Beginn des Tappings 6-10 Anschläge programmieren, bzw. daß ein Durchlauf des Motorprogramms, welches das Tapping steuert, 6-10 Anschläge umfaßt. Durch die Vielzahl der Annahmen ist diese Aussage allerdings sehr unsicher oder sogar spekulativ; andererseits ist dies die einzige Schätzung die momentan möglich ist. Es sollte jedoch relativ leicht möglich sein, diese Aussage empirisch zu untersuchen, indem den Versuchspersonen etwa die Aufgabe gegeben wird, während des Tappings Einheiten von etwa 2, 4, 6, 8 etc. Anschläge zu produzieren. Die entsprechenden Reaktionszeiten können dann mit einer Bedingung verglichen werden, in der die gleiche Instruktion wie in den hier dargestellten Experimenten 1-3 gegeben wird.

Weitere Ursachen des Unterschiedes zwischen RT und SRT sind denkbar. So ist vorstellbar, daß für das Stoppen einer Handlung eine allgemeine Fertigkeit verwendet

werden kann, die in hohem Maße geübt ist und daher besonders schnell ausgeführt werden kann. Dies ließe sich damit begründen, daß die unterschiedlichsten Handlungen auf die gleiche Weise abgebrochen werden können (siehe etwa die bereits angeführte Hypothese von Logan [1982], nach der ein Abbruch durch die "Entkoppelung" verschiedener Teilprozesse herbeigeführt werden kann). Im Gegensatz dazu erfordert das Starten verschiedener Handlungen jeweils spezifische Festlegungen, so daß es für das Starten länger dauert als für das Stoppen, einen hohen Grad an Übung zu erreichen. Im Falle des Tappings kann man dabei davon ausgehen, daß die Handlung relativ ungeübt war: wenn auch die zugrundeliegenden Bewegungen beim Tapping den Versuchspersonen vertaut waren, ist die Koordination dieser Bewegungen den meisten Versuchspersonen doch vermutlich neu gewesen.

Weiterhin kann man sich vorstellen, daß das Stoppen einer Bewegung auf verschiedene Weisen erfolgen kann. Wie bereits von Vince & Welford (1967) ausgeführt wurde, kann das Stoppen einer Bewegung manchmal die Programmierung antagonistischer Muskeln notwendig machen, während bei anderen Gelegenheiten ein Ende der Bewegung einfach durch eine Unterbrechung der motorischen Kommandos für die zu unterbrechenden Bewegung zu erreichen ist. Da für eine Programmierung antagonistischer Muskeln mehr und aufwendigere Berechnungen durchzuführen sind – beispielsweise muß irgendwie bestimmt werden, welcher Muskel zu welchem Zeitpunkt gehemmt werden muß – nicht jedoch für eine Unterbrechung der motorischen Kommandos, sollte sich die Schnelligkeit, mit der die Bewegung gestoppt wird unterscheiden. Während die Programmierung antagonistischer Muskeln ähnlich lange dauern sollte wie beim Start einer Bewegung, sollte die Unterbrechung der motorischen Kommandos schneller realisierbar sein.

Eine ähnliche Position wurde in jüngerer Zeit von De Jong und Kollegen vertreten (De Jong, Coles, Logan & Gratton, 1990; De Jong, Coles & Logan, 1995). Diese Autoren nehmen an, daß eine Unterbrechung auf zwei Weisen erfolgen kann. Erstens kann ein *zentraler* Mechanismus eingesetzt werden, der antwortbezogene Prozesse in kortikalen motorischen Strukturen inhibiert und somit die zentrale Abgabe von motorischen Kommandos verhindert. Dieser zentrale Mechanismus kann *selektiv* einzelne Bewegungen hemmen. Ein zweiter mehr *peripherer* Mechanismus unterbricht den Informationsfluß zu einem späteren Zeitpunkt und bewirkt, daß zentrale motorische Kom-

mandos nicht ausgeführt werden. Dieser zweite Mechanismus hemmt *unselektiv* alle ablaufenden Handlungen. Der springende Punkt ist, daß der unselektive Mechanismus relativ schnell wirksam wird, während der selektive Mechanismus eher langsam ist (De Jong et al., 1995). Die Antwort auf ein Stoppsignal in der Tappingaufgabe scheint keine selektive Hemmung bestimmter Bewegungen zu erfordern, und könnte daher durch den unselektiven peripheren Mechanismus erreicht werden, der alle ablaufenden Bewegungen zum Stillstand bringt. Weiterhin betonten die Instruktionen eine schnelle Antwort, so daß die (angenommenerweise kooperativen) Versuchsperson nicht nur in der Lage waren, den schnellen unselektiven Mechanismus einzusetzen, sondern dazu auch motiviert gewesen sein sollten. Der Unterschied zwischen SRT und RT in den vorliegenden Experimenten ist daher möglicherweise durch die Nutzung unterschiedlicher Kontrollstrukturen bei der Antwort auf Stoppsignale und Startsignale zustande gekommen.

Es ist im übrigen bemerkenswert, daß De Jong et al. (1990; De Jong et al., 1995) ihre Studie inhibitorischer Kontrolle mit einem Hinweis auf die große funktionale Bedeutung der Fähigkeit motivieren, Handlungen angesichts unerwarteter Ereignisse zurückzuhalten, zu unterbrechen oder zu verändern. Sie führen aus, daß aufgrund unerwarteter Konsequenzen des eigenen Verhaltens oder unerwarteter Veränderungen äußerer Faktoren geplante oder in der Ausführung befindliche Handlungen häufig nicht mehr situationsangepaßt sind und daß die Ausführung dieser Handlungen daher verhindert werden muß. Die von De Jong et al. durchgeführten Experimente verwendeten jedoch eine Variante des sogenannten Stoppsignalparadigmas, in dem die Versuchspersonen auf einen Zielreiz hin so schnell wie möglich eine Antwort ausführen sollten, diese Antwort jedoch zurückhalten sollten, wenn kurz nach dem Zielreiz ein Stoppsignal gezeigt wurde (siehe auch zum Beispiel Logan & Cowan, 1984). Es gibt in diesem Paradigma also Durchgänge, in denen nur ein Zielreiz gezeigt wird (Zielreiz-Durchgänge) und Durchgänge, in denen ein Zielreiz gefolgt von einem Stoppsignal gezeigt wird (Zielreiz-Stoppsignal-Durchgänge). Diese zwei Typen von Durchgängen werden in einer zufälligen Abfolge gezeigt, so daß das Erscheinen von Stoppsignalen für die Versuchsperson *unvorhersagbar* ist. Diese Versuchsanordnung ist zweifellos geeignet, die Fähigkeit zur Hemmung oder Zurückhaltung geplanter Handlungen zu untersuchen; jedoch ist keines der im Experiment realisierten Ereignisse *unerwartet*. Im Gegenteil, die Versuchspersonen sind über das mögliche Erscheinen der Stoppsignale ebenso genau informiert wie

über die in diesem Fall auszuführende Handlung. Das hier verwendete experimentelle Paradigma scheint daher viel besser geeignet zu sein die Fähigkeit zu untersuchen, ablaufende Handlungen angesichts unerwarteter Ereignisse zurückzuhalten, zu unterbrechen oder zu modifizieren.

Experiment 4

Experiment 4 diene dem Nachweis eines Merkmals von Automatizität, und zwar dem Merkmal der Interferenzlosigkeit automatischer Prozesse. Das Interferenzkriterium besagt, daß ein willentlicher Prozeß, nicht jedoch ein automatischer Prozeß, Interferenz erleiden oder verursachen kann. Wie bereits ausgeführt wurde, ist es geradezu das charakteristische Kennzeichen der Unterbrechungsfunktion, Interferenz zu verursachen, so daß dieser Aspekt des Interferenzkriteriums nicht sinnvoll als Argument für oder gegen die Annahme der Automatizität der Unterbrechungsfunktion verwendet werden kann. Daher soll nur der erste Aspekt der Interferenzempfindlichkeit untersucht werden. Die zu untersuchende Frage ist also, ob die Unterbrechungsfunktion Interferenz durch andere, gleichzeitig ablaufende kognitive Prozesse erleidet oder nicht.

Ein sehr wichtiges Merkmal dieses Experimentes besteht darin, daß nicht nur die Interferenzempfindlichkeit der (mutmaßlich automatischen) Unterbrechungsfunktion der Überraschung untersucht werden soll, sondern daß diese mit der Interferenzanfälligkeit einer willentlichen Unterbrechung verglichen werden soll. Als einen paradigmatischen Fall einer willentlichen Unterbrechung wurde die bereits aus den Experimenten 1-3 bekannte Antwort auf ein durch die Instruktion vereinbartes Stoppsignal verwendet. Durch eine Untersuchung der Interferenzanfälligkeit einer willentlichen Unterbrechung kann einerseits sichergestellt werden, daß das in diesem Experiment verwendete Verfahren zur Erzeugung von Interferenz auch tatsächlich Interferenz hervorruft; sie dient also gewissermaßen als Manipulationskontrolle. Weiterhin erfüllen eine willentliche Unterbrechung und die Unterbrechungsfunktion der Überraschung offensichtlich analoge Zwecke, nämlich eine Unterbrechung der gerade ablaufenden Handlung hervorzurufen. Wenn nun die bekanntermaßen willentliche Unterbrechung aufgrund eines Stoppsignals stärker interferenzanfällig wäre als die Unterbrechungsfunktion, deutete dies in einem hohem Maße darauf hin, daß beide Formen der Unterbrechung durch unterschiedliche Mechanismen vermittelt sind. Drittens kann die Unterbrechungsfunktion, in

dem Maße in dem sie tatsächlich unempfindlich gegenüber Interferenz ist, vorläufig als automatisch im Sinne des Interferenzkriteriums gelten. Die Vorläufigkeit würde sich daraus ergeben, daß sich möglicherweise Prozesse finden lassen, die auch mit der Unterbrechungsfunktion interferieren.

Die Suche nach einer geeigneten Verfahrensweise zur Erzeugung von Interferenz wurde vor allem durch zwei Zielvorgaben geleitet. Die *methodische* Zielvorgabe war, daß der Interferenzeffekt hinreichend stark sein sollte, so daß er im kontinuierlichen Paradigma untersucht werden kann. Die *inhaltliche* Zielvorgabe war, daß der Interferenzeffekt ein theoretisch sinnvolles Merkmal willentlicher Prozesse betreffen sollte. Eine Vorstudie ergab, daß die von Jonides (1981) verwendete Gedächtnisaufgabe, bei der die Versuchspersonen während einer Reaktionszeitaufgabe drei, fünf oder sieben Ziffern im Gedächtnis behalten mußten, die methodische Zielvorgabe nicht erfüllt. Es ergaben sich nämlich zwar signifikante Effekte des Umfangs der Gedächtnismenge auf die SRT, diese Effekte waren jedoch numerisch sehr klein. Darüber hinaus ergaben sich diese signifikanten Effekte für Mittelwerte einer größeren Anzahl von Versuchsdurchgängen, wobei durch die Mittelwertbildung die begrenzte Genauigkeit von etwa 100 ms, mit der die SRT im Rahmen der Tappingaufgabe gemessen werden kann, ausgeglichen werden kann. Für eine Untersuchung der Unterbrechungsfunktion der Überraschung jedoch ist stets für jede Versuchsperson nur ein Versuchsdurchgang verfügbar; daher kann die begrenzte Genauigkeit der Bestimmung der SRT nicht durch Mittelung über mehrere Durchgänge ausgeglichen werden. Aufgrund der relevanten Literatur wurde schließlich als möglicher Kandidat für eine Interferenzmanipulation der PRP Effekt ausgewählt. Wie bereits zu einem früheren Zeitpunkt ausgeführt wurde, resultiert der PRP Effekt, wenn zwei Reize, S1 und S2, auf die als Antworten R1 und R2 auszuführen sind, in enger zeitlicher Nähe dargeboten werden. Der PRP Effekt ist sehr robust und extrem effektstark, und wenn das SOA zwischen S1 und S2 günstig gewählt wird, sollte es möglich sein, einen Interferenzeffekt mit einer Zeitdauer von mehreren hundert Millisekunden hervorzurufen, der entsprechend auch in einem einzelnen kritischen Durchgang nachgewiesen werden kann.

Der PRP Effekt erfüllt neben der methodischen auch die inhaltliche Zielvorgabe. Wie vorauslaufend bereits ausgeführt, wird der PRP Effekt von vielen Autoren als Ausdruck eines Flaschenhalses bei der Antwortauswahl betrachtet. Die Antwortauswahl ist

bei solchen einfachen willentlichen Aufgaben, wie sie in Reaktionszeitexperimenten in überwiegender Mehrzahl verwendet werden, im übertragenen wie im wörtlichen Sinne des Wortes der zentrale Prozeß. Sie ist im übertragenen Sinne zentral, weil – zumindest aus Sicht der Versuchsperson – die Vermittlung zwischen einem Signal und der (über die Instruktion definierten) zugehörigen Antwort in der Regel die eigentliche von der Versuchsperson auszuführende Aufgabe ist, insofern als daß die Versuchsperson auf die Wahrnehmung der Reize wenig Einfluß hat und die motorische Ausführung der Antwort in der Regel trivial ist. Darüber hinaus ist die Antwortauswahl in Reaktionszeitexperimenten nicht selten der einzige zentrale Prozeß, der in diesem Fall in der Herstellung einer Verknüpfung oder Übersetzung zwischen den afferenten Wahrnehmungsprozessen und den efferenten motorischen Prozessen besteht. Andere zentrale Prozesse, wie das Ziehen von Schlußfolgerungen oder die Beurteilung neuartiger Sachverhalte, sind häufig nicht gefordert. Darüber hinaus ist die willentliche Antwortauswahl offenbar der Gegenpart des offenbar für automatische Prozesse zentralen Merkmals der autonomen Festlegung von Handlungsparametern: Bei einem automatischen Prozeß erfolgt die Antwortauswahl eben nicht willentlich sondern wird selbstgesteuert durch eine entsprechende Subroutine des automatischen Prozesses ausgeführt. Daß die Antwortauswahl bei willentlichen Prozessen einen Flaschenhals darstellt, ist also ein zentrales Merkmal willentlicher Prozesse und erfüllt daher die zweite Zielvorgabe.

Wenn man sichergehen möchte, daß der PRP Effekt möglichst ausschließlich auf eine Störung zentraler Prozesse der Informationsverarbeitung zurückgeht und möglichst wenig auf eine Störung peripherer Prozesse der Wahrnehmung oder der motorischen Ausführung, dann ist es günstig, S1 und S2 Reize in unterschiedlichen sensorischen Modalitäten darzubieten und R1 und R2 durch verschiedene Effektoren ausführen zu lassen (Pashler, 1994; siehe auch VanSelst, Ruthruff & Johnston, 1999). Entsprechend wurde im vorliegenden Experiment für S1 ein auditiver Reiz und für S2 ein visueller Reiz verwendet; außerdem war R1 eine verbale Antwort, während R2 eine manuelle Antwort war. Genauer gesagt war S1 eine von einem männlichen Sprecher gesprochene Zahl zwischen eins und acht, und die erste Aufgabe der Versuchsperson bestand darin zu beurteilen, ob diese Zahl gerade ist oder nicht. Entsprechend war R1 die Äußerung des Wortes "ja" oder "nein". Die zweite Aufgabe war, auf einen Reiz S2 hin ein Tapping zu beenden. Beide Aufgaben waren mit größtmöglicher Schnelligkeit und Genau-

igkeit auszuführen, wobei keiner der zwei Aufgaben durch die Instruktion Vorrang eingeräumt wurde.

Das Experiment gliederte sich wieder in zwei Phasen. In der ersten Phase war die Darstellung der Reize in allen Durchgängen gleich, und es wurde angenommen, daß innerhalb dieser Phase ein entsprechendes Schema etabliert würde. Im unmittelbar an diese Schemabildungsphase anschließenden kritischen Durchgang wurde eine Veränderung gegenüber den vorausgegangenen Durchgängen eingeführt, und es wurde angenommen, daß diese Veränderung von dem vorauslaufend etablierten Schema abweichen und daher Überraschung hervorrufen würde. In der ersten Phase des Experimentes wurden insgesamt sechs SOA zwischen S1 und S2 verwendet: 200 ms, 400 ms, 1500 ms, 1700 ms, 3200 ms und 3400 ms. Es wurde erwartet, daß die Zeit der Ausführung von R2 eine fallende Funktion des SOA sein würde. Mit anderen Worten, die Zeit der Ausführung von R2 sollte bei einem SOA von 200 ms am längsten und bei einem SOA von 3400 ms am kürzesten sein, während die übrigen Zeiten entsprechend der relativen Dauer des SOA dazwischen liegen sollten. Darüber hinaus sollten die Zeiten der Ausführung von R2 das für einen PRP Effekt typische Muster aufweisen, mit sehr großen Unterschieden zwischen kleinen SOA (z.B.: 200 ms und 400 ms) und geringen Unterschieden zwischen großen SOA (z.B. 1500 ms und 1700 ms).

Im kritischen Durchgang wurden nur die zwei kurzen SOA (200 ms und 400 ms) realisiert. Diese zwei SOA vereinen die Vorteile, daß (a) ein maximaler Interferenzeffekt für willentliche Unterbrechungen zu erwarten ist und (b) andere Unterschiede zwischen den Bedingungen möglichst gering sind; so ist etwa kaum anzunehmen, daß sich während der 200 ms, die in der Bedingung mit einem 400 ms SOA länger getippt wird als in der Bedingung mit 200 ms SOA, bei den Versuchspersonen eine nennenswerte Ermüdung einstellen würde. Wie gesagt wurden für die willentlichen Antworten auf das Stoppsignal große Unterschiede zwischen den SOA von 200 ms und 400 ms in den Zeiten der Ausführung von R2 erwartet. Demgegenüber wurde für eine schemadiskrepante Reizdarbietung im kritischen Durchgang kein Einfluß des SOA erwartet. Dies ist die zentrale Hypothese des vorliegenden Experimentes.

Das vorliegende Experiment knüpft insofern an Experiment 3 an, als daß der überraschende Reiz zunächst allein gezeigt wurde und ein zusätzliches Stoppsignal erst später begann. Tatsächlich war das Intervall bis zur Darbietung des Stoppsignals sogar

erheblich länger als in Experiment 3 und betrug mehr als drei Sekunden. Somit waren ideale Bedingungen gegeben, um die Reaktion der Versuchspersonen auf das überraschende Ereignis möglichst unbeeinflusst durch andere Reize zu untersuchen. Insbesondere sollte es möglich sein festzustellen, wie viele Versuchspersonen das Tapping tatsächlich vollständig abbrechen, wie viele Personen das Tapping kurzzeitig unterbrechen und anschließend wieder aufnehmen und wie viele Personen möglicherweise gar keine Unterbrechung zeigen. Ein weiterer Unterschied zu den vorangegangenen Experimenten war, daß im vorliegenden Experiment keine rasche Folge von Signalen dargeboten wurde. Vielmehr startete die Versuchsperson jeden neuen Versuchsdurchgang einfach damit, daß sie das Tapping begann. Im weiteren Verlauf des Versuchsdurchgangs wurde dann erst S1 und dann S2 dargeboten, bzw. im kritischen Durchgang S1, die überraschende Reizveränderung und dann S2. Diese Veränderung geschah in dem Bemühen, den Versuchspersonen ihre Aufgabe nicht schwieriger zu gestalten als unbedingt notwendig. Vorangegangene Versionen der Aufgabe, die eine den Experimenten 1-3 entsprechende rasche Abfolge von Signalen beinhalteten, erschienen in Voruntersuchungen als viel zu schwierig und wurden aus diesem Grunde verworfen.

Methode

Versuchspersonen

Die Versuchsteilnehmer waren 42 Studierende (27 Frauen und 15 Männer) verschiedener Fakultäten. Ihr mittleres Alter betrug 24.6 Jahre ($SD = 3.6$). Die Teilnehmer wurden einzeln in der öffentlichen Halle der Universität Bielefeld angesprochen. Das Experiment wurde ihnen als Reaktionsaufgabe von ca. 10 Minuten Dauer vorgestellt, für deren Bearbeitung sie 3 DM bekommen würden. Die Versuchsdurchführung fand in Einzelsitzungen in einem Experimentalraum der Abteilung für Psychologie statt. Keine der Versuchspersonen hatte nach eigenem Bekunden zuvor an einem Überraschungsexperiment teilgenommen.

Material

Die Darbietung der visuellen Reize erfolgte über einen 15" Computermonitor bei einer Auflösung von 640 x 480 Bildpunkten und einer Bildwiederholungsfrequenz von 72 Hz. Der Monitor war über eine Diamond Stealth 64 Graphikkarte an einen IBM

kompatiblen PC (80 486/100 MHz) angeschlossen. Die auditiven Reize wurden über handelsübliche PC-Boxen (Okando 168S) wiedergegeben, die über eine Soundkarte (Soundblaster 16) mit dem PC verbunden waren. Die Tastenanschläge während des schnellen Tappings wurden über die PC Tastatur (Cherry) aufgenommen. Die verbalen Antworten wurden auf Audioband aufgezeichnet. Die Steuerung der Reizdarbietung und die Erfassung der Tastenanschläge erfolgte durch die Versuchssteuerungssoftware ERTS (Experimental Run Time System, © BeriSoft Cooperation).

Reize

Auditive Reize waren die von einem männlichen Sprecher gesprochenen Zahlwörter eins bis acht. Jedes Zahlwort war in einer gesonderten Tondatei abgespeichert. Die Lautstärke der Darbietung war so eingestellt, daß die Zahlwörter auch während des Tappings auf der Tastatur gut verstanden werden konnten ohne dabei unangenehm laut zu sein; sie war über alle Versuchspersonen konstant. Die Dauern der verschiedenen Zahlwörter unterschieden sich nur geringfügig und lagen zwischen 0.4 und 0.5 s ($M = 0.42$ s, $SD = 0.05$ s).

Die visuellen Reize wurden durch schwarze Bildpunkte gebildet. Der Bildschirmhintergrund war weiß. Mit dem Beginn eines jeden Durchgangs wurden zunächst

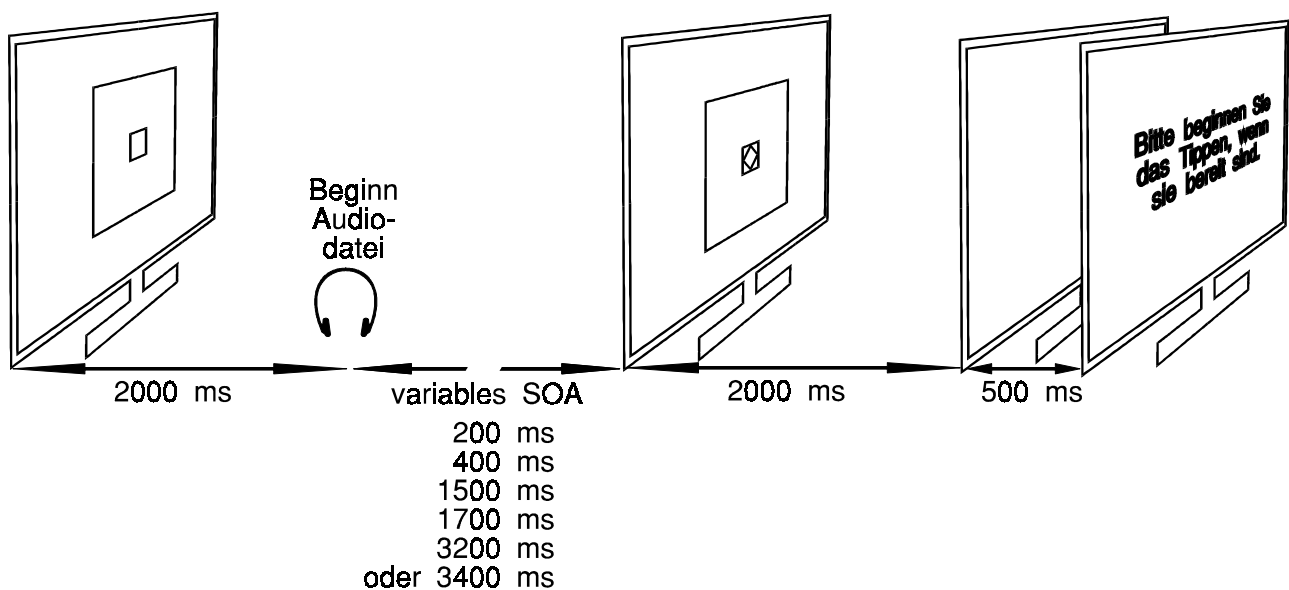


Abbildung 15. Schematische Darstellung der Reize und des zeitlichen Ablaufs in Experiment 4.

zwei ineinander geschachtelte Quadrate dargeboten, wobei das kleinere Quadrat (Seitenlänge von 1.4°) zentriert innerhalb des größeren Quadrates (Seitenlänge von 7.1°) dargeboten wurde (vergleiche Abbildung 15). Die Umrißlinien des äußeren Rahmens hatten eine Stärke von 0.1° und die Umrißlinien des inneren Rahmens hatten eine Stärke von 0.07° .

Als Aufforderung, das Tapping zu beenden, erschien eine Raute zentriert innerhalb des kleineren Rahmens. Die beiden Diagonalen dieser Raute waren 1.1° lang und die Raute wurde zentriert in dem Rahmen dargeboten. Die Raute wurde durch ihre Umrißlinien (Stärke 0.04°) dargestellt und das Innere der Raute hatte die Farbe des Bildschirmhintergrundes.

Der überraschende Reiz hatte die Form der Fläche, die den Bereich zwischen den Umrißlinien der zwei Quadrate ausfüllte. Diese Fläche war monochrom schwarz.

Versuchsablauf

Die Versuchsdurchführung fand in Einzelsitzungen in einem Experimentalraum der Abteilung für Psychologie statt. Die Versuchsperson saß vor einem Tisch auf dem sich der Computermonitor, die Computerlautsprecher, die Tastatur sowie ein Mikrofon befanden. Der Versuchsleiter trug dafür Sorge, daß die Versuchsperson aufrecht auf dem Stuhl saß und daß sich die Augen der Versuchsperson in einer Entfernung von etwa 70 cm von dem Bildschirm befanden.

Als nächstes wurde die Versuchsperson über ihre Aufgabe informiert. Ihr wurde gesagt, daß in jedem Versuchsdurchgang zwei Aufgaben zu erledigen seien, die beide gleichermaßen wichtig sind. Die eine Aufgabe bestehe darin, möglichst schnell nach der auditiven Darbietung einer Zahl anzugeben, ob diese Zahl gerade sei oder nicht. Hierbei sollte sie möglichst schnell mit „Ja“ antworten, wenn diese Zahl gerade ist und mit „Nein“ antworten, wenn diese Zahl ungerade ist. Die zweite Aufgabe bestehe darin, ein schnelles Tapping auszuführen und dieses Tapping so schnell wie möglich zu beenden, sobald eine Raute auf dem Computermonitor erscheint. Keine der beiden Aufgaben habe gegenüber der anderen Aufgabe Vorrang; vielmehr gelte es sowohl bezogen auf die Zahl so schnell wie möglich „Ja“ oder „Nein“ zu sagen wie auch nach Erscheinen der Raute so schnell wie möglich das Tapping zu beenden.

Als nächstes wurde eine Übungsphase angekündigt. Der Versuchsleiter informierte die Versuchsperson darüber, daß sie nun die zwei Aufgabe einüben sollte, und daß sie in dieser Übungsphase ruhig Fehler machen dürfe. Jeder Versuchsdurchgang in der Übungsphase entsprach in seinem Aufbau exakt den Durchgängen in der eigentlichen Experimentalphase ohne überraschendes Ereignis.

Vor jedem Durchgang war der Bildschirm bis auf die Mitteilung „Bitte beginnen sie das Tapping, wenn Sie bereit sind“ leer. Der erste Tastenanschlag des Tappings startete den aktuellen Versuchsdurchgang. Nun erschienen die zwei ineinander verschachtelten Quadrate auf dem Bildschirm, die über die gesamte Dauer des Durchgangs hinweg sichtbar waren. Zwei Sekunden nach dem Beginn des Durchgangs begann die auditive Darbietung einer der Zahlen. Entweder 200 ms, 400ms, 1500 ms, 1700 ms, 3200 ms oder 3400 ms nach Beginn der auditiven Darbietung wurde innerhalb des kleineren Rahmens für 2000 ms die Raute gezeigt. Nach Verschwinden der Raute war der Bildschirm für 500 ms leer. Anschließend erschien wieder die Aufforderung, das Tapping zu beginnen.

Der Übungsblock sowie die drei anschließenden Experimentalblöcke umfaßten jeweils 12 Versuchsdurchgänge. Diese 12 Versuchsdurchgänge wurden durch eine vollständig gekreuzte Kombination der sechs SOA (200 ms, 400ms, 1500 ms, 1700 ms, 3200 ms und 3400 ms) und der zwei Antwortkategorien (gerade Zahl oder ungerade Zahl) gebildet. Innerhalb der 48 Durchgänge der ersten vier Blöcke wurden alle acht Zahlen gleich häufig verwendet. Die Abfolge der 12 Versuchsdurchgänge jedes Blocks wurde für jede Versuchsperson und jeden Block neu nach einem Zufallsprinzip erstellt.

Während der Bearbeitung des Übungsblocks saß der Versuchsleiter neben der Versuchsperson und teilte ihr mit, ob sie die Aufgabe richtig bearbeitete. Insbesondere achtete der Versuchsleiter darauf und leitete die Versuchsperson entsprechend an, daß (a) das Tapping gleichmäßig und nicht zu langsam ausgeführt wird, daß (b) auf beide Reize (die Zahl und das Stoppsignal) möglichst schnell reagiert wird und daß (c) das Tapping wirklich erst auf das Stoppsignal unterbrochen wurde, und nicht bereits bei der Darbietung der Zahl.

Nach dem letzten Durchgang des Übungsblocks erschien auf dem Bildschirm die Mitteilung, daß nun die Experimentalblöcke beginnen würden. Der Experimentator setzte sich nun an einen anderen Tisch im Hintergrund des Raumes und beschäftigte

sich mit einer Lektüre. Nach jedem Experimentalblock hatten die Versuchspersonen Zeit für eine kurze Pause. Den anschließenden Block starteten sie allein ohne Intervention durch den Versuchsleiter.

Der vierte und letzte Experimentalblock hatte einen von den vorherigen Blöcken unterschiedlichen Aufbau. In den ersten sechs der insgesamt acht Durchgänge dieses Blocks wurde jedes SOA einmal realisiert, wobei in drei Durchgängen gerade Ziffern und in drei Durchgängen ungerade Ziffern dargeboten wurden. Die Abfolge der SOA wurde für jede Versuchsperson neu nach einem Zufallsprinzip erstellt. Im siebten Durchgang betrug das SOA für alle Versuchspersonen 1700 ms. Dieses SOA von 1700 ms war eher willkürlich gewählt; das einzige seiner Auswahl zugrundeliegende Kriterium war, daß keines der zwei im kritischen letzten Durchgang verwendeten SOA unmittelbar vor diesem Durchgang verwendet werden sollte.

Der Ablauf des achten Durchgangs war mit dem der vorausgegangenen Durchgänge bis auf drei Punkte identisch. Erstens wurden nur die SOA von 200 ms und 400 ms verwendet. Zweitens wurde nach dem SOA von 200 ms bzw. 400 ms nicht das Stoppsignal, sondern der überraschende Reiz dargeboten. Drittens wurde 3400 ms nach Beginn der Zahl zusätzlich zum überraschenden Reiz das Stoppsignal an der üblichen Position (also innerhalb des inneren Quadrates) dargeboten. Nach 2000 ms wurde der Bildschirm für 500 ms geleert, anschließend begann die postexperimentelle Befragung, deren Inhalte und Ablauf den postexperimentellen Befragungen der vorangegangenen Experimente entsprach. Für alle Gruppen wurde im vorletzten Durchgang die Ziffer 8, im letzten Durchgang die Ziffer 2 dargeboten.

Versuchsplan

Es gab zwei Gruppen von Versuchspersonen, die sich durch das SOA im kritischen Durchgang (200 ms vs. 400 ms) unterschieden. Die Zuordnung der Versuchspersonen zu den Bedingungen erfolgte zufällig.

Datenanalyse

Bei der Datenanalyse wurde davon ausgegangen, daß nicht alle Versuchspersonen auf das überraschenden Ereignis gleich reagieren würden. Aufgrund der vorausgegangenen Experimente war zu erwarten, daß (a) einige Versuchspersonen als Antwort auf das überraschende Ereignis das Tapping vollständig abbrechen würden, (b) einige

Personen in der Ausführung des Tappings eine deutliche Verzögerung zeigen würden, anschließend das Tapping jedoch fortsetzen und (c) einige Personen ihr Tapping mehr oder weniger unbeeinflusst durch das überraschende Ereignis fortsetzen würden, d.h. das Tapping nicht unterbrechen.

Für eine Bestimmung, ob eine Person das Tapping abgebrochen, unterbrochen oder fortgeführt hat, war es notwendig, Kriterien festzulegen. Für eine Unterbrechung war festzulegen, ob ein gegebener Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Anschlägen eine Unterbrechung oder ein übliches ITI darstellt. Für einen Abbruch galt es festzulegen, ob die Person das Tapping tatsächlich beendet hat, oder ob der letzte im Aufzeichnungszeitraum von 2000 ms registrierte Anschlag eher darauf hindeutet, daß die Person das Tapping auch über das Ende des Aufzeichnungszeitraumes hinaus fortgesetzt hat. Diese Kriterien für eine Unterbrechung und einen Abbruch sollten idealerweise so gewählt werden, daß möglichst selten beispielsweise eine vorhandene Unterbrechung ignoriert wird oder daß eine nur "zufällige" Verlängerung eines ITI irrtümlich als Unterbrechung gewertet wird. Es gibt sicherlich eine Anzahl von Kriterien, die im Hinblick auf das vorauslaufend angeführte Ziel angemessen sind. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, werde ich die Ergebnisse berichten, wie sie sich bei einem relativ einfachen Kriterium ergeben. Zusätzlich werde ich jedoch berichten, ob die Auswahl anderer Kriterien die Ergebnisse verändert.

Für die Bestimmung eines Abbruchs oder einer Unterbrechung wurde der gesamte Aufzeichnungszeitraum von 2000 ms wie in den vorherigen Experimenten in 200 ms Intervalle unterteilt. Wenn in den letzten zwei 200 ms Intervallen kein Anschlag registriert wurde, wurde davon ausgegangen, daß die Versuchsperson das Tapping innerhalb des Aufzeichnungsintervalls beendet hat. Der Zeitpunkt des letzten Anschlags sowie die Anzahl der bis zu diesem Zeitpunkt abgegebenen Anschläge dienten entsprechend als Indizes für die Latenz der Unterbrechung. Wenn innerhalb eines fortlaufenden Tappings in mindestens zwei aufeinanderfolgenden 200 ms Intervallen kein Tastenanschlag registriert wurde, wurde dies als Unterbrechung interpretiert. Der Zeitpunkt des letzten Anschlags vor dieser Unterbrechung sowie die Anzahl der bis zu diesem Zeitpunkt abgegebenen Anschläge dienten als Indizes für die Latenz der Unterbrechung. Für den Fall, daß für eine Person beide Kriterien erfüllt sind und sie also das Tapping sowohl innerhalb des Aufzeichnungsintervalls beendet und zudem vorauslaufend eine

Unterbrechung zeigt, werden ebenfalls der letzte Anschlag vor der Unterbrechung sowie die Anzahl der bis dorthin abgegebenen Anschläge als Indizes für die Latenz der Unterbrechung verwendet.

Ergebnisse

Manipulationskontrolle: Der PRP Effekt bei schemakonformer Darbietung

Die Daten aus den Blöcken 2-4 (die Daten aus dem Übungsblock wurden nicht analysiert) wurden auf die gleiche Weise behandelt wie dies vorauslaufend für den kritischen Durchgang beschrieben wurde. Das heißt, wenn (a) in einem Durchgang das Tapping für zwei oder mehr 200 ms Intervalle unterbrochen wurde, wurde der letzte vor dieser Unterbrechung registrierte Anschlag als letzter Anschlag der Versuchsperson gewertet, und wenn (b) in einem Durchgang der letzte Anschlag in dem vorletzten oder dem letzten 200 ms Intervall des Aufzeichnungszeitraums von 2000 ms registriert wurde, wurde dieser Durchgang bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Diese Maßnahme veränderte die Daten nur geringfügig und diente vor allem dazu, die Vergleichbarkeit zwischen den Durchgängen mit schemakonformer und schemadiskrepanter Darbietung zu gewährleisten. Genauer gesagt wurde in 13 von insgesamt 1512 Durchgängen (36 Durchgänge \times 42 Versuchspersonen) eine Unterbrechung festgestellt und in 7 Durchgängen ein letzter Anschlag im vorletzten oder letzten 200 ms Intervall. Dies entspricht jeweils weniger als 1% der Durchgänge.

Nach dieser Datenbereinigung wurden für jede Versuchsperson Mittelwerte für die sechs SOA gebildet. Die Zeit des letzten Anschlages (Abbildung 16, oben) und die Anzahl der Anschläge (Abbildung 16, unten) aus den drei Blöcken wurden mit je einer zweifaktoriellen ANOVA ausgewertet. Von hauptsächlichem Interesse war der Meßwiederholungsfaktor SOA (200 vs. 400 vs. 1500 vs. 1700 vs. 3200 vs. 3400 ms), für den ein Haupteffekt erwartet wurde. Der Gruppenfaktor SOA im kritischen Durchgang (200 vs. 400 ms) wurde ebenfalls berücksichtigt, um zu kontrollieren, ob sich die zwei experimentellen Gruppen eventuell schon vor dem kritischen Durchgang unterschieden. Beide ANOVA ergaben ausschließlich signifikante Haupteffekte für das SOA, $F(5, 200) = 45.72$, $\varepsilon = 0.43$, $p < 0.001$, für die Zeit des letzten Anschlages und $F(5, 200) = 29.12$, $\varepsilon = 0.37$, $p < 0.001$, für die Anzahl registrierter Anschläge (alle übrigen F s <

1.90, $p_s > 0.17$). Wie Abbildung 16 entnommen werden kann zeigt sich die für einen PRP Effekt typische Abhängigkeit der Stärke der Interferenz von der Dauer des SOA, wobei eine Verlängerung des SOA mit einer Abnahme der Interferenz einhergeht. Die Manipulation war also offenbar erfolgreich.

In Studien zum PRP Effekt werden häufig auch die RT1 untersucht, insbesondere um festzustellen, ob S1 tatsächlich als erster Reiz verarbeitet wurde. Versuchspersonen könnten nämlich eine Strategie verfolgen, bei der sie – zumindest in den Durchgängen mit geringen SOA – S1 und S2 gleichzeitig verarbeiten und eine integrierte motorische Antwort programmieren. Diese Strategie würde allerdings erfordern, daß die Versuchspersonen vorauslaufend lernen, jede mögliche S1-S2 Kombination und die entsprechenden R1-R2 Kombinationen direkt miteinander zu assoziieren (VanSelst et al., 1999), was in nur 56 Versuchsdurchgängen und bei 16 verschiedenen Zuordnungen zwischen S1-S2 Komplexen einerseits und R1-R2 Komplexen andererseits keine leichte

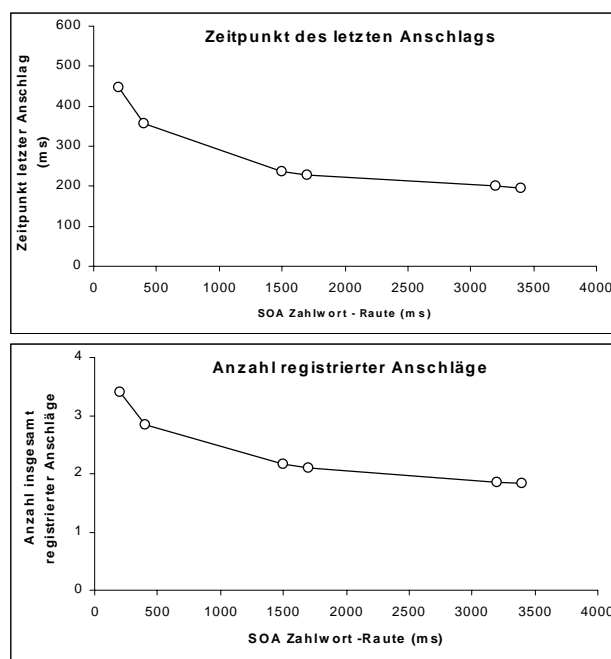


Abbildung 16. Der Zeitpunkt des letzten Anschlages (oben) sowie die Anzahl insgesamt registrierter Anschläge in den schemakonformen Durchgängen in Abhängigkeit vom SOA zwischen Zahlwort und Raute in Experiment 4

Aufgabe wäre. Die Verwendung dieser Strategie wäre daran zu erkennen, daß auch RT2 eine Abhängigkeit von dem SOA zeigen würde.

Aufgrund des für eine Auswertung der R1 erforderlichen sehr hohen zeitlichen Aufwandes wurde die Leistung in der verbalen Aufgabe nur für eine Teilstichprobe (vier Männer und vier Frauen, die im Durchschnitt 22.5 [$SD = 1.07$] Jahre alt waren) analysiert. Die Daten dieser Versuchspersonen wurden zunächst digitalisiert und anschließend mit Hilfe eines Audioeditors (Cool Edit 2000) weiter ausgewertet. Bei der Auswertung wurde die Möglichkeit des Audioeditors genutzt, die Audiodatei über die PC-Boxen abzuspielen und gleichzeitig grafisch als Schalldruckkurven darzustellen. Insbesondere konnten mit der Maus einzelne Abschnitte der grafischen Darstellung markiert werden und diese markierten Abschnitte einzeln abgespielt werden. Die Zeitdauer des markierten Abschnitts wurde dabei vom Programm in einem gesonderten Datenfeld in Millisekunden ausgegeben. Auf diese Weise war es möglich, das zeitliche Intervall zwischen Beginn der Audiodatei und Beginn der verbalen Antwort (d.h. die verbale Reaktionszeit) zu bestimmen. Fünf Versuchsdurchgänge (2%) wurden bei der Analyse aufgrund von falschen Antworten der Versuchspersonen oder Störungen während des Durchgangs nicht berücksichtigt. Eine Versuchsperson machte Fehler in drei Durchgängen; eine weitere Versuchsperson setzte in einem Durchgang zunächst zu einer falschen Antwort an, die sie anschließend korrigiert. Die Störung bestand darin, daß eine dritte Person zwischen Beginn der Audiodatei und ihrer Antwort in einem Durchgang hustete. Insgesamt wurden also 288 Versuchsdurchgänge ausgewertet.

Eine erste Analyse sollte sicherstellen, daß auch in dieser Teilstichprobe ein PRP Effekt zu beobachten war. Eine einfaktorielle ANOVA der Zeitpunkte des letzten Anschlags mit SOA als Meßwiederholungsfaktor zeigte, daß dies der Fall war, $F(5, 35) = 6.96$, $\varepsilon = .36$, $p < 0.05$. Die mittleren Zeitpunkte des letzten Anschlags betrugen (in aufsteigender Reihenfolge der SOA) 482, 368, 230, 262, 229 und 178 ms. Demgegenüber unterschieden sich die verbalen Reaktionszeiten nicht signifikant in Abhängigkeit vom SOA, $F(5, 35) = 2.04$, $\varepsilon = 0.70$, $p > 0.10$. Die mittleren verbalen Reaktionszeiten betrugen (in aufsteigender Reihenfolge der SOA) 784, 787, 762, 739, 716 und 759 ms. Zumindest für diese Teilstichprobe läßt sich daher feststellen, daß die Versuchspersonen in Übereinstimmung mit der Instruktion handelten und R1 nicht zurückhielten sondern mit größtmöglicher Schnelligkeit beantworteten. Zudem zeigt dieses Ergebnis, daß – in

Übereinstimmung mit dem Flaschenhalsmodell der Antwortwahl – die Verarbeitung von S1 nur geringfügig durch die Anwesenheit von S2 gestört wurde, während umgekehrt die Verarbeitung von S2 in hohem Maße durch die Verarbeitung von S1 verändert wurde.

Unterbrechung im kritischen Durchgang

Von den insgesamt 42 Personen brachen 23 Personen (55%) das Tapping vollständig ab, 7 Personen (17%) stoppten vorübergehend und nahmen das Tapping anschließend wieder auf und 12 Personen (29%) führten das Tapping ohne Unterbrechung fort. Dieses Ergebnismuster unterschied sich nicht signifikant in Abhängigkeit von dem SOA im kritischen Durchgang, χ^2 (df = 2; N = 42) = 1.15. Einige zusätzliche Analysen sollten die Angemessenheit des für die Bestimmung einer Unterbrechung angewendeten Kriteriums überprüfen. So läßt sich fragen, wie lang denn die als solche identifizierte Unterbrechung tatsächlich war, und wie lang im Vergleich dazu die längsten Unterbrechungen (ITI_{\max}) andauerten, die bei Personen beobachtet wurden, die das Tapping abbrachen oder ununterbrochen fortführten. Die identifizierte Unterbrechung dauerte im Durchschnitt 1018 ms an und war deutlich länger als die längste Unterbrechung, die bei Personen beobachtet wurde, die nach den verwendeten Kriterien das Tapping abbrachen oder ununterbrochen fortführten (154 ms bzw. 257 ms). Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergab, daß dieser Unterschied zwischen den Gruppen signifikant ist, $F(2,52) = 76.7$; anschließende Vergleiche mit dem Scheffé-Test ergaben darüber hinaus, daß sich die Gruppe mit identifizierter Unterbrechung signifikant von beiden anderen Gruppen unterschied, die ihrerseits keinen signifikanten Unterschied aufwiesen. Mit anderen Worten, die Gruppe, in der eine Unterbrechung nach den angelegten Kriterien festgestellt wurde, unterschied sich signifikant von den zwei Gruppen, in denen keine Unterbrechung nach den angelegten Kriterien festgestellt wurde. Dieses Ergebnis deutet also darauf hin, daß die angelegten Kriterien angemessen sind.

Aufgrund der Neuheit der experimentellen Vorgehensweise und der daraus resultierenden Unsicherheit, welches ein angemessenes ITI für eine "echte" Unterbrechung des Tappings ist, wurden einige zusätzliche Analysen der Daten angestellt. Unter Verwendung des größten im kritischen Durchgang registrierten ITI, dem ITI_{\max} , lassen sich weit feinere Kriterien als zwei aufeinanderfolgende 200 ms Intervalle ohne regi-

strierten Anschlag festlegen. Eine systematische Variation des kritischen Wertes (zwischen 200 ms und 1000 ms in 100 ms Schritten), ab dem ein ITI_{\max} als Unterbrechung gelten soll, sollte darüber Aufschluß geben, wie die Wahl eines Kriteriums für den Abbruch die Ergebnisse beeinflusst. Diese Untersuchung erbrachte vor allem zwei Ergebnisse. Erstens verändert eine Variation des kritischen Wertes zwischen 300 und 1000 ms die Zuordnung zu den drei Gruppen relativ wenig. So wechseln zwischen diesen zwei Werten nur sieben der 42 Personen (17%) die Gruppe. Nur der Wert von 200 ms unterschied sich deutlich von den übrigen Werten: Nach diesem Kriterium hätten alle Personen bis auf eine das Tapping beendet oder unterbrochen. Zweitens führte eine Verschiebung des kritischen Wertes vor allem zu einer Verschiebung der Anteile zwischen den Gruppen mit Unterbrechung vs. Fortsetzung des Tappings: je kleiner der Wert des Kriteriums gewählt wurde, desto mehr Personen wurden der Gruppe mit Unterbrechung zugeordnet. Eine Verschiebung des Kriteriums hatte dagegen kaum einen Einfluß auf den Anteil der Personen mit einem vollständigen Abbruch des Tappings. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, daß die Personen mit einem Abbruch überwiegend wenige Anschläge mit kurzen ITI abgaben. Es läßt sich daher festhalten, daß die Zuordnung zur Kategorie "Abbruch" außerordentlich zufriedenstellend gelungen ist und Variationen des Kriteriums für eine Unterbrechung darauf keinen Einfluß haben (übrigens führen auch Veränderungen des Kriteriums für Abbruch vs. Fortsetzung des Tappings in vernünftigen Grenzen nur zu geringfügigen Veränderungen).

Ausgehend von der Unterbrechungshypothese sollte das Einsetzen eines Abbruchs und das Einsetzen einer Unterbrechung durch den selben Mechanismus verwirklicht werden. Daher sollte auch die Latenz des Abbruchs und die Latenz der Unterbrechung gleich sein, wenn das ITI_{\max} angemessen gewählt wurde. Wenn andererseits ein ITI_{\max} überhaupt nicht indikativ für eine Unterbrechung aufgrund eines überraschenden Ereignisses ist, sondern vielmehr auf Zufall zurückzuführen ist, dann ist entsprechend auch die "Latenz" der Unterbrechung zufällig, d.h. irgendein Zeitpunkt zwischen 1 und 2000 ms mit einem Erwartungswert von 1000 ms. Wenn für das kritische ITI_{\max} zunehmend kleinere Werte gewählt werden, werden daher zunehmend größere Latenzen auftreten. Bei jedem der vorauslaufend berücksichtigten kritischen Werte für ITI_{\max} wurde daher untersucht, ob sich der Zeitpunkt des letzten Anschlags signifikant zwischen den Personen unterscheidet, die das Tapping beendet oder nur unterbrochen haben. Es zeigte

sich insgesamt in Übereinstimmung mit den vorauslaufend ausgeführten Überlegungen, daß die Unterschiede zwischen Abbruch und Unterbrechung um so kleiner wurden, je größer der kritische Wert gewählt wurde. Hierbei bestanden bei den kritischen Werte von 200 ms und 300 ms signifikante Unterschiede zwischen Abbruch und Unterbrechung, $t(39) = 2.66$, $p < 0.05$, und $t(31) = 2.27$, $p < 0.05$. Dieser Unterschied war bei einem kritischen Wert von 400 ms erstmalig nicht signifikant, $t(30) = 1.54$, $p > 0.10$, und bei den nachfolgenden Vergleichen für kritischen Werte von 500 ms und mehr waren alle $t_s < 1$ (alle Tests zweiseitig). Diese Analyse deutet also darauf hin, daß kritische Werte von 400 ms und mehr angemessen sind, um eine tatsächliche Unterbrechung von einer zufälligen Unregelmäßigkeit im Tapping zu unterscheiden.

Zusammengefaßt hat eine Veränderung der Kriterien für eine Unterbrechung praktisch keinen Einfluß auf eine Zuordnung zur Gruppe der Personen mit vollständigem Abbruch. Für eine Zuordnung zur Gruppe von Personen mit einer Unterbrechung legen die zusätzlichen Analysen nahe, daß ITIs von 400 ms und mehr vermutlich "echte" Unterbrechungen darstellen, während ITIs von weniger als 400 ms vermutlich "zufällige" Schwankungen in der Ausführung des Tappings wiedergeben.

Überraschungsskalierungen

Alle Versuchspersonen hatten die Abweichung im letzten Durchgang gegenüber den vorausgegangenen Durchgängen bemerkt. Die durchschnittliche Überraschungsskalierung betrug 6.4. Eine zweifaktorielle ANOVA mit den Gruppenfaktoren Bedingung (SOA im kritischen Durchgang: 200 vs. 400 ms) und der Art des Abbruchs (vollständiger Abbruch vs. vorübergehende Unterbrechung vs. kein Abbruch) ergab ausschließlich einen signifikanten Haupteffekt für die Art des Abbruchs, $F(2, 52) = 6.05$, $p < 0.01$, der zweite Haupteffekt und die Interaktion waren nicht signifikant, $F_s < 1.22$. Post-hoc Vergleiche mittels t -Tests ergaben, daß sich die Gruppe mit vollständigem Abbruch (7.4) signifikant von der Gruppe ohne Abbruch (5.2) unterscheidet, $t(36) = 3.12$, $p < 0.01$, und ebenfalls signifikant von der Gruppe mit vorübergehender Unterbrechung (5.6) unterscheiden, $t(25) = 2.69$, $p < 0.05$. Die beiden letztgenannten Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, $t(17) < 1$. Der Zusammenhang zwischen der Art des Abbruchs und der Stärke der erlebten Überraschung läßt sich auch durch die Korrelation der zwei Maße ausdrücken, die $r = -.46$, $p < 0.001$ betrug. Eine

Korrelation mit praktisch der gleichen Höhe von $r = -.47$, $p < 0.05$ ergab sich übrigens, wenn die Personen ohne Unterbrechung nicht berücksichtigt wurden.

Zeitpunkt des letzten Anschlags und Anzahl der Anschläge im kritischen Durchgang.

Für eine Analyse des Zeitpunktes des letzten Anschlags sowie die Anzahl der bis zu diesem Zeitpunkt abgegebenen Anschläge in den Experimentalblöcken 1-3 und im kritischen Durchgang wurden nur die Personen berücksichtigt, die das Tapping im kritischen Durchgang abgebrochen oder unterbrochen hatten. Als Vergleichswert für den kritischen Durchgang diente dabei immer der Mittelwert der Werte aus den Experimentalblöcken 1-3, deren SOA mit dem SOA im kritischen Durchgang übereinstimmte. Abbildung 17 stellt die zwei Indizes für die Latenz der Unterbrechung in Abhängigkeit vom SOA (200 vs. 400 ms) und der Art des Stoppsignals (konventionelles Stoppsignal vs. überraschender Reiz) dar.

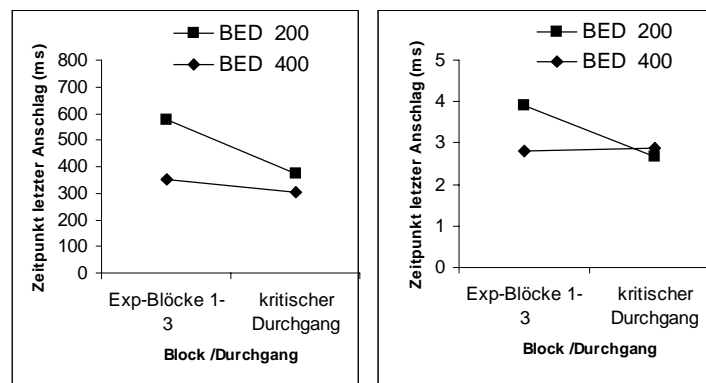


Abbildung 17. Zeitpunkt des letzten Anschlags (links) und Anzahl der insgesamt registrierten Anschläge (rechts) in den Experimentalblöcken 1-3 und im kritischen Durchgang in Experiment 4

Die Hypothese einer interferenzfrei arbeitenden Unterbrechungsfunktion sagt eine Interaktion der Faktoren Art des Stoppsignals (konventionelles Stoppsignal vs. überraschendes Ereignis im kritischen Durchgang) und des Gruppenfaktors SOA (200 vs. 400 ms) voraus: Während die konventionellen Stoppsignale unter Interferenz leiden sollten und die Latenz der Unterbrechung daher deutlich vom SOA abhängen sollte, sollte die durch das überraschende Ereignis hervorgerufene Unterbrechung keine Interferenz erleiden und daher die Latenz der Unterbrechung bei beiden SOA gleich sein. Da der

Faktor Art des Stoppsignals als Meßwiederholungsfaktor realisiert ist, besteht die Möglichkeit, diesen Interaktionseffekt mit Hilfe eines einseitigen t -Tests der Differenzen zwischen konventionellem Stoppsignal und überraschenden Ereignis zu testen, was aufgrund der höheren Teststärke eines einseitigen Tests auch durchgeführt wurde. Die zwei t -Tests ergaben einen signifikanten Effekt des SOA für die Differenzen der Zeitpunkte des letzten Anschlags, $t(30) = 1.63$, $p = 0.05$, sowie einen signifikanten Effekt des SOA für die Differenzen der Anzahl von Anschlägen, $t(30) = 1.77$, $p < 0.05$. Diese Interaktion ging in beiden Fällen darauf zurück, daß in der Bedingung mit 200 ms SOA die Werte der abhängigen Variablen im kritischen Durchgang signifikant geringer waren als in den Experimentalblöcken 1-3 ($t[13] = 2.73$, $p < 0.05$ für den Zeitpunkt und $t[13] = 2.10$, $p < 0.05$ für die Anzahl), während sich die Werte in der Bedingung mit 400 ms SOA nicht in Abhängigkeit von der Art des Stoppsignals unterschieden, $t_s < 1$.

Zusätzlich zur Hauptanalyse wurden ergänzende Analysen gerechnet, um die Robustheit der Befunde zu beurteilen. Dabei zeigte sich, daß eine Analyse ausschließlich der Personen, die das Tapping abgebrochen hatten, zu praktisch identischen Ergebnissen führt (wobei allerdings die Interaktion der zwei Faktoren Art des Stoppsignals und SOA aufgrund der verringerten Freiheitsgrade nur noch tendenziell signifikant wurden). Auch die Anwendung verschiedener kritischer ITI_{\max} Werte veränderte das Datenmuster kaum, solange nicht ITI_{\max} zu klein (d.h. 300 ms oder kleiner) gewählt wird. Bei einem zu klein gewählten kritischen ITI_{\max} wird der Interaktionseffekt sehr klein, was jedoch unter der Annahme zu erwarten ist, daß bei diesen Werten zunehmend zufällig auftretende Unregelmäßigkeiten im Tapping als Unterbrechung fehlklassifiziert werden.

Latenz der Unterbrechung

Wie in den vorangegangenen Experimenten wurde für eine Schätzung der Latenz der Unterbrechung zum Zeitpunkt des letzten Anschlags (339 ms) das mittlere $ITI / 2$ der Durchgänge in den Experimentalblöcken 2-4 (85 ms) addiert. Hieraus ergab sich ein Wert von 424 ms.

Diskussion

Die Ergebnisse von Experiment 4 bestätigen die Annahme, daß die durch ein überraschendes Ereignis hervorgerufene Unterbrechung durch einen anderen Mechanismus verwirklicht wird als die auf ein arbiträres Stoppsignal hin ausgeführte willentli-

che Unterbrechung. Genauer gesagt zeigen die Daten, daß die willentliche Antwort auf ein Stoppsignal erwartungsgemäß anfällig gegenüber einer als PRP Effekt bekannten Interferenz war. Die im kritischen Durchgang durch ein überraschendes Ereignis hervorgerufene Unterbrechung des Tappings war dagegen weniger anfällig für den PRP Effekt. Dieses zentrale Ergebnis wird im Anschluß an das nachfolgend dargestellte Experiment 5 ausführlich diskutiert.

In Experiment 4 wurde erstmalig die unterbrechende Wirkung eines überraschenden Ereignisses untersucht, das nicht in enger zeitlicher Nähe eines anderen Signals dargeboten wurde. Es zeigte sich, daß 71 % der Versuchspersonen das Tapping im Anschluß an das überraschende Ereignis zumindest kurzfristig unterbrachen. Dieses Ergebnis ist insofern neu, als daß in den vorangegangenen Experimenten das überraschende Ereignis stets entweder gleichzeitig mit einem Signal gezeigt wurde oder das Signal sehr kurz nach dem überraschenden Ereignis dargeboten wurde. Bei gleichzeitiger Darbietung war es nicht möglich zu bestimmen, ob das Tapping aufgrund des überraschenden Ereignisses oder aufgrund eines Stoppsignals beendet wurde. Bei einer Darbietung mit einem SOA von 500 ms (in Experiment 3) gab es zwar deutliche Hinweise auf einen Abbruch in Abwesenheit eines Stoppsignals bei etwa einem Drittel der Versuchspersonen; allerdings hätten die übrigen Versuchspersonen entweder eine relativ späte Unterbrechung aufweisen können oder aber das Tapping instruktionsgemäß erst auf das Stoppsignal abbrechen können. Experiment 4 dagegen zeigt, daß bei der überwiegenden Mehrheit der Versuchspersonen eine Unterbrechung des Tappings festgestellt werden konnte und daß nur ein kleiner Teil der Versuchspersonen nicht durch das überraschende Ereignis in der Bearbeitung des Tappings beeinflusst wurde. Im Vergleich zu Experiment 3 hat also eine relativ hohe Anzahl von Personen das Tapping abgebrochen oder unterbrochen.

Ein weiterer Grund für die verhältnismäßig große Anzahl von Personen mit Unterbrechung könnte darin bestehen, daß das überraschende Ereignis anders gestaltet war als in den vorangegangenen Experimenten. Zum einen wurde nämlich eine deutlich größere Fläche im kritischen Durchgang verändert dargestellt. Dies könnte zur Folge gehabt haben, daß im Durchschnitt eine größere Schemadiskrepanz hervorgerufen wurde und daß somit der kritische Schwellenwert für die Auslösung von Überraschung bei mehr Personen überschritten wurde. Zudem bestand das überraschende Ereignis in einer

plötzlichen Veränderung des vorauslaufend über die gesamte Dauer des Durchgangs unverändert dargebotenen Rahmens. Hierbei wurde zwar zum Zeitpunkt des überraschenden Reizes ein visuelles Ereignis erwartet (nämlich das Stoppsignal), der Ort des Ereignisses war dagegen vermutlich völlig unerwartet. In den vorausgegangenen Experimenten fand die überraschende Veränderung dagegen an einem Reiz statt (z.B. der Raute), dessen Auftreten zu diesem Zeitpunkt auch erwartet war. Möglicherweise ist auch dies ein Faktor, der sich auf die Stärke der Schemadiskrepanz auswirkt.

Ein weiterer Grund für die hohe Anzahl von Personen mit Unterbrechung mag auch darin bestanden haben, daß im vorliegenden Experiment ein Stoppsignal erwartet wurde. Die einzige Unsicherheit im kritischen Durchgang war, zu welchem Zeitpunkt das Stoppsignal erscheinen würde; seine Identität (und damit seine Bedeutung) war dagegen absolut sicher. In den Experimenten 1 und 2 war es genau umgekehrt: über den Zeitpunkt des Signals bestand völlige Sicherheit, nur seine Identität war unsicher, denn es konnte mit gleicher Wahrscheinlichkeit ein Signal zum Tippen oder ein Signal zum Halten sein. In Experiment 3 waren dann Zeitpunkt und Identität unsicher. Eine mögliche Erklärung der hohen Anzahl von Personen die das Tapping unterbrachen wäre daher, daß das aufgrund der Instruktion und der vorauslaufenden Durchgänge gebildete Wissen darüber, daß der nächste erscheinende visuelle Reiz ein Stoppsignal ist, die Unterbrechung im kritischen Durchgang begünstigt hat. Würde diese Erklärung zutreffen, würde dies allerdings bedeuten, daß die Unterbrechungsfunktion der Überraschung gegenüber Intentionen nicht invariant ist, und daher dem Intentionalitätskriterium der Automatizität nicht genügt. Es sollte allerdings bemerkt werden, daß die vorauslaufend dargestellten Überlegungen die Hauptbefunde des Experimentes nicht beeinträchtigen, denn keine der angeführten Einflußgrößen kann erklären, daß der Einfluß des SOA auf die Latenz der Unterbrechung im kritischen Durchgang mit überraschendem Ereignis geringer war als in den vorausgegangenen Durchgängen ohne überraschendes Ereignis. Insbesondere läßt sich der geringe Einfluß des SOA auf die Reaktionszeit nicht dadurch erklären, daß die Versuchspersonen im kritischen Durchgang ein visuelles Stoppsignal erwarteten und daher das ebenfalls visuelle überraschende Ereignis mit einem Stoppsignal "verwechselten". Wäre dies nämlich der Fall gewesen, hätte im kritischen Durchgang ebenfalls ein PRP Effekt vorliegen sollen.

Ein interessanter Befund von Experiment 4 war der Zusammenhang zwischen der Zuordnung des Verhaltens im kritischen Durchgang als Abbruch, Unterbrechung oder Fortsetzung des Tappings und der Überraschungsskalierung. Dieser Zusammenhang fällt mit $r = -.46$ durchaus deutlich aus. Im Rahmen des kognitiv-evolutionspsychologischen Modells der Überraschung läßt sich dieses Ergebnis folgendermaßen erklären. Ob das Tapping vollständig abgebrochen, nur kurzzeitig unterbrochen oder ohne Unterbrechung fortgesetzt wird, hängt im wesentlichen von zwei Faktoren ab, nämlich (a) ob die Stärke der Schemadiskrepanz den für die Auslösung von Überraschung notwendigen Schwellenwert überschreitet, und (b) wie aufwendig die Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses ist. Wenn nämlich der Schwellenwert für Überraschung nicht überschritten wird, wird die Überraschungsreaktion nicht ausgelöst und es kommt entsprechend nicht zu einer Unterbrechung. Natürlich unterbleibt ebenfalls ein Überraschungsgefühl, so daß ein Beitrag zur gefundenen Korrelation denkbar ist. Ob eine Unterbrechung festgestellt werden kann, hängt darüber hinaus von der Dauer der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses ab. Wenn diese Analyse und Bewertung nämlich nur sehr kurz erfolgt, kann eine Unterbrechung möglicherweise nicht entdeckt werden, weil die resultierende Pause im Tapping entsprechend kurz ist. Dagegen wird bei einer aufwendigen und lang andauernden Analyse und Bewertung das Tapping relativ lange unterbrochen, so daß die Unterbrechung zuverlässig entdeckt werden kann.

Der Zusammenhang zwischen der Dauer der kognitiven Verarbeitung des überraschenden Reizes und des Überraschungsgefühls könnte nun erstens darin bestehen, daß starke Schemadiskrepanzen häufig auch einen erhöhten Bedarf an Analyse- und Bewertungsprozessen nach sich ziehen. So kann man etwa erwarten, daß die überraschende Veränderung im kritischen Durchgang bei verschiedenen Versuchspersonen inhaltlich unterschiedlich ausgestaltete Schemata betreffen. So kann beispielsweise eine Versuchsperson ein Schema für ein psychologisches Experiment haben, worin dem Versuchsleiter die Rolle zukommt, die Versuchsperson über alle für die Bearbeitung der Aufgabe relevanten Geschehnisse im Experiment zu unterrichten. Eine andere Versuchsperson könnte dagegen ein Schema haben, daß dem Versuchsleiter in psychologischen Experimenten die Rolle zuweist, der Versuchsperson irgendeine halbwegs plausible, jedoch größtenteils unwahre "Coverstory" für das Experiment zu erzählen. Diese

Versuchsperson wäre möglicherweise nicht nur weniger überrascht über das diskrepante Ereignis, sondern hätte auch einen geringeren Analyse- und Bewertungsaufwand, da sie ihr Schema für ein psychologisches Experiment nicht revidieren müßte. Zweitens ist es denkbar, daß das Überraschungsgefühl selbst eine direkte Determinante des Aufwandes der Analyse und Bewertung ist. So wird dem Überraschungsgefühl im kognitiv-evolutionspsychologischen Modell eine *motivierende* Funktion zugeordnet. Demnach wären sehr überraschte Versuchspersonen besonders motiviert eine gründliche Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses vorzunehmen, während wenig überraschte Versuchspersonen weniger motiviert sind und daher eher eine oberflächliche Verarbeitung des überraschenden Ereignisses durchführen. Eine dritte Erklärung geht von der Annahme aus, daß die Überraschungsskalierungen nicht ausschließlich die subjektiv erlebte Überraschung widerspiegeln. So haben etwa Frijda, Kuipers und ter Schure (1989) darauf hingewiesen, daß sich Emotionsbegriffe mehr oder weniger auf einzelne Komponenten der Emotion, das heißt Gefühl, physiologische Erregung sowie Verhaltenstendenzen, oder auch auf emotionsrelevante Einschätzungen beziehen können. Hiernach wäre es denkbar, daß die Aussage "Ich bin überrascht!" nicht notwendigerweise ausschließlich meint, "Ich hatte gerade ein Gefühl der Überraschung" sondern möglicherweise ebenfalls "Ich habe unwillkürlich innegehalten", "Meine Aufmerksamkeit wurde vom überraschenden Ereignis angezogen" oder "Es ist etwas unerwartetes geschehen". Wird nun von den Versuchspersonen eine abgestufte Gesamteinschätzung der Überraschung erbeten, könnte sie diese verschiedenen Informationen zu einem Gesamturteil aggregieren. Eine Person, die das Tapping völlig abgebrochen hat, könnte daher eine höhere Skalierung ihrer Überraschung vorgenommen haben als eine Person, die das Tapping nur kurz unterbrochen oder überhaupt nicht unterbrochen hat.

Experiment 5

Eine wichtige Einschränkung der Interpretierbarkeit von Experiment 4 besteht darin, daß die Art des Stoppsignals mit der zeitlichen Position innerhalb des Experimentes konfundiert war: das überraschende Ereignis wurde stets im letzten Durchgang realisiert, während die schemakonformen Stoppsignale stets in den vorausgegangenen Durchgängen realisiert wurden. Daher ist es grundsätzlich nicht auszuschließen, daß der schwächere Einfluß des SOA im kritischen Durchgang durch eine Abnahme der Interfe-

renz aufgrund von Übung im Umgang mit der Doppelaufgabe zustande kam. In Experiment 5 wurde daher auch die Art des Stoppsignals als Gruppenfaktor realisiert. Ansonsten gab es nur eine weitere kleine Veränderung, und zwar wurde der überraschende Reiz derart modifiziert, daß in der sonst homogen schwarzen Fläche sechs dünne weiße Linien eingearbeitet wurden. Diese Veränderung geschah mit der Absicht, den überraschenden Reiz etwas komplexer zu gestalten und somit den Aufwand der Prozesse der Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses zu erhöhen. Hierdurch sollte sich die Zeitdauer zwischen der Unterbrechung des Tappings und seiner Wiederaufnahme nach Abschluß der Analyse- und Bewertungsprozesse erhöhen, was eine leichtere Identifizierbarkeit einer solchen Unterbrechung zur Folge haben sollte.

Methode

Versuchspersonen

Teilnehmer waren 86 Studierende (37 Frauen und 49 Männer) verschiedener Fakultäten. Ihr mittleres Alter betrug 23.24 (SD = 3.3) Jahre. Die Teilnehmer wurden einzeln in der zentralen Halle der Universität Bielefeld angesprochen. Das Experiment wurde ihnen als Reaktionsaufgabe von ca. 10 Minuten Dauer vorgestellt, für deren Bearbeitung sie 3 DM bekommen würden. Die Versuchsdurchführung fand in Einzelsitzungen in einem Experimentalraum der Abteilung für Psychologie statt. Keine der Versuchspersonen hatte nach eigenem Bekunden zuvor an einem Überraschungsexperiment teilgenommen.

Material

Das verwendete Versuchsmaterial war das gleiche wie in Experiment 4.

Reize

Die dargebotenen Reize waren mit einer Ausnahme mit den in Experiment 4 dargebotenen Reizen identisch. Die Ausnahme war der überraschende Reiz, der – gemeinsam mit dem Standardreiz – in Abbildung 18 dargestellt ist, und der nun sechs weiße Linien enthielt. Die Stärke dieser sechs weißen Linien betrug 0.04° . Die übrigen Parameter des überraschenden Reizes waren mit denen in Experiment 4 berichteten identisch.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf war für die Bedingungen mit überraschendem Reiz im kritischen Durchgang der gleiche wie in Experiment 4. Der Versuchsablauf für die Bedingungen ohne überraschenden Reiz im kritischen Durchgang wich hiervon nur im kritischen Durchgang ab. In diesem Durchgang wurde in den Kontrollgruppen das Stoppsignal mit einem SOA von 200 ms bzw. 400 ms dargeboten. Der Ablauf dieses Durchgangs in den Kontrollgruppen unterschied sich in keinem Punkt vom Ablauf der vorhergegangenen Durchgänge mit dem entsprechenden SOA.

Versuchsplan.

Es wurden vier Gruppen durch die faktorielle Kombination des SOA im kritischen Durchgang (200 ms vs. 400 ms) und Art des Stoppreizes (schemakonformes Stoppsignal vs. überraschendes Ereignis) gebildet. Die Zuordnung der Versuchspersonen zu den Bedingungen erfolgte zufällig mit der Einschränkung, daß für die Kontrollbedingung eine etwas geringere Zellenbesetzung geplant war als für die Experimentalbedingung. Dies geschah aufgrund der Überlegung, daß für die Kontrollbedingung eine geringere Varianz für den kritischen Durchgang erwartet wurde als für die Experimentalbedingung.

Datenanalyse

Die Datenanalyse erfolge nach den gleichen Prinzipien wie in Experiment 4.

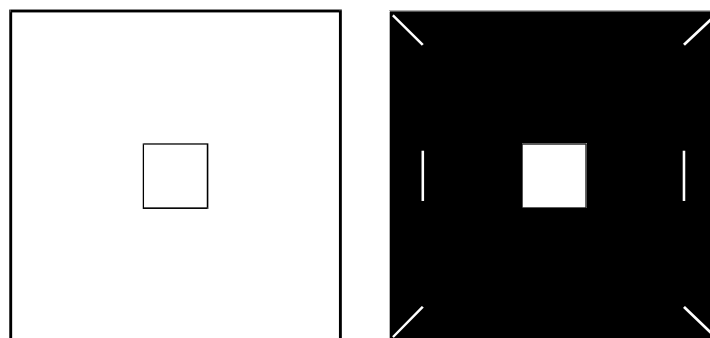
Ergebnisse

Abbildung 18. Standardreiz und überraschender Reiz im Experiment 5

Manipulationskontrolle: Der PRP Effekt bei schemakonformer Darbietung

Die Daten aus den Blöcken 2-4 wurden auf die gleiche Weise behandelt wie in Experiment 4. Wieder führte die Anwendung des zwei 200 ms Intervalle Kriteriums zu nur minimalen Veränderungen der Daten: Genauer gesagt wurde in 15 von insgesamt 3096 Durchgängen (36 Durchgänge \times 86 Versuchspersonen) eine Unterbrechung festgestellt und in 49 Durchgängen ein letzter Anschlag im vorletzten oder letzten 200 ms Intervall. Dies entspricht 0.5% bzw. 1.6% der Durchgänge.

Nach dieser Datenbereinigung wurden für jede Versuchsperson Mittelwerte für die sechs SOA gebildet. Die Zeit des letzten Anschlages (Abbildung 19, oben) und die Anzahl der Anschläge (Abbildung 19, unten) aus den drei Blöcken wurden mit je einer dreifaktoriellen ANOVA ausgewertet. Von hauptsächlichem Interesse war der Meßwiederholungsfaktor SOA (200 vs. 400 vs. 1500 vs. 1700 vs. 3200 vs. 3400 ms), für den ein Haupteffekt erwartet wurde. Die Gruppenfaktoren SOA im kritischen Durchgang (200 vs. 400 ms) und Stopreiz im kritischen Durchgang (schemakonformes Stoppsignals vs. überraschendes Ereignis) wurden ebenfalls berücksichtigt, um die Vergleichbarkeit der zwei experimentellen Gruppen zu kontrollieren. Beide ANOVA ergaben ausschließlich signifikante Haupteffekte für das SOA, $F(5, 410) = 116.58$, $\varepsilon = 0.38$, $p <$

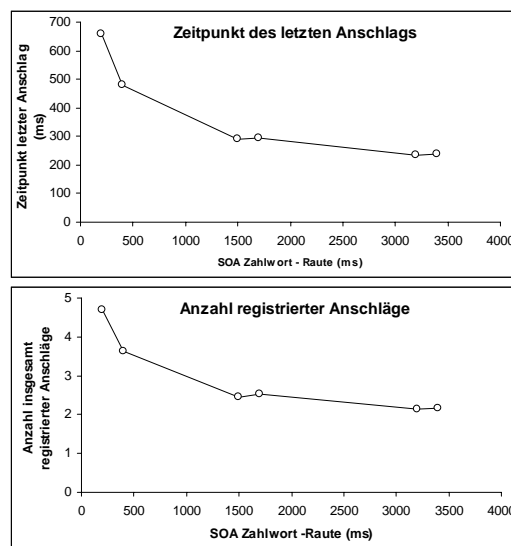


Abbildung 19. Der Zeitpunkt des letzten Anschlages (oben) sowie die Anzahl insgesamt registrierter Anschläge in den schemakonformen Durchgängen in Abhängigkeit vom SOA zwischen Zahlwort und Raute in Experiment 5

0.001 für die Zeit des letzten Anschlages und $F(5, 410) = 87.79$, $\varepsilon = 0.33$, $p < 0.001$, für die Anzahl registrierter Anschläge (alle übrigen F s < 1.152 , p s > 0.29). Wie Abbildung 19 entnommen werden kann zeigt sich die für einen PRP Effekt typische Abhängigkeit der Stärke der Interferenz von der Dauer des SOA, wobei eine Verlängerung des SOA generell mit einer Abnahme der Interferenz einhergehen. Die Manipulation war also offenbar erfolgreich.

Unterbrechung im kritischen Durchgang

Von den insgesamt 86 Personen brachen 56 (65%) das Tapping vollständig ab, 12 Personen (14%) stoppten vorübergehend und nahmen das Tapping anschließend wieder auf und 18 Personen (21%) führten das Tapping ohne Unterbrechung fort. Wie bereits aufgrund des vorangegangenen Experimentes zu erwarten war, zeigten sich jedoch starke Unterschiede zwischen der Experimentalbedingung und der Kontrollbedingung (vergleiche Tabelle 3). Während in der Kontrollbedingung alle Personen bis auf eine Person das Tapping abbrachen, brachen in der Experimentalbedingung 47% der Personen das Tapping ab, 22% der Personen zeigten eine Unterbrechung und bei 31% der Personen konnte keine Unterbrechung festgestellt werden. Die Verteilung der Versuchspersonen in der Kontroll- und der Experimentalbedingung hinsichtlich Abbruch oder Unterbrechung vs. Fortführung des Tappings unterschied sich signifikant voneinander, χ^2 ($df = 2$; $N = 86$) = 21.48, $p < 0.001$. Ein Vergleich der zwei SOA innerhalb der Experimentalbedingung ergab, daß sich diese zwei Bedingungen nicht signifikant voneinander unterschieden χ^2 ($df = 2$; $N = 55$) = 2.10, $p > 0.30$.

Tabelle 3

Anzahl der Versuchspersonen in der Experimental- und der Kontrollgruppe, die im kritischen Durchgang das Tapping vollständig beendeten, vorübergehend abbrachen oder ohne Unterbrechung fortführten

	vollständig abgebrochen	vorübergehend unterbrochen	ununterbrochen fortgeführt
Experimentalgruppe	26	12	17
Kontrollgruppe	30	-	1

Wie im Experiment 4 wurde untersucht, wie lang die als solche identifizierte Unterbrechung in der Experimentalgruppe tatsächlich war, und wie lang im Vergleich dazu die längsten Unterbrechungen (ITI_{\max}) andauerten, die bei anderen Personen der Experimentalgruppe beobachtet wurden, die das Tapping abbrechen oder ununterbrochen fortführten. Die identifizierte Unterbrechung dauerte im Durchschnitt 848 ms an und war deutlich länger als die längste Unterbrechung, die bei Personen beobachtet wurde, die das Tapping abbrechen oder ununterbrochen fortführten (208 ms bzw. 298 ms). Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergab einen signifikanten Haupteffekt, $F(2,54) = 44.04$, $p < 0.001$; anschließende Vergleiche mit dem Scheffé-Test zeigten darüber hinaus, daß sich die Gruppe mit identifizierter Unterbrechung signifikant von beiden anderen Gruppen unterschied, die sich ihrerseits nicht signifikant voneinander unterschieden. Dieses Ergebnis wird wieder als Hinweis auf die Angemessenheit der angelegten Kriterien gedeutet.

Überraschungsskalierungen.

Alle Versuchspersonen der Experimentalbedingung hatten nach eigenen Angaben die Abweichung im letzten Durchgang gegenüber den vorausgegangenen Durchgängen bemerkt. In der Kontrollbedingung gaben dagegen 84 % der Versuchspersonen an, keine Besonderheit im letzten Durchgang gegenüber den vorausgegangenen Durchgängen bemerkt zu haben. Diesen Personen wurde eine Überraschungsskalierung von 0 (null) zugewiesen. Eine zweifaktorielle ANOVA mit den Gruppenfaktoren SOA im kritischen Durchgang (200 vs. 400 ms) und Stopreiz im kritischen Durchgang (Stopsignal vs. überraschendes Ereignis) ergab ausschließlich einen signifikanten Haupteffekt für das Stopreiz im kritischen Durchgang, $F(3, 82) = 190.64$, alle anderen Effekte waren nicht signifikant, $F < 1$. Der Haupteffekt ging darauf zurück, daß die durchschnittliche Überraschungsskalierung in der Bedingung mit überraschendem Ereignis sehr viel höher war als in der Bedingung ohne überraschendes Ereignis (7.1 vs. 0.6).

Als zusätzliche Analyse wurde für die Experimentalgruppe wie in Experiment 1 die Abhängigkeit der Überraschungsskalierung von der Art des Abbruchs (Tapping beendet vs. unterbrochen vs. fortgesetzt) und SOA (200 ms vs. 400 ms) untersucht. Diese ANOVA ergab einen signifikanten Haupteffekt für die Art des Abbruchs, $F(2, 49) = 3.85$, $p < 0.05$, der zweite Haupteffekt und die Interaktion waren nicht signifikant, $F_s <$

1.06. Post-hoc Vergleiche mittels t -Tests ergaben, daß sich die Gruppe mit vollständigem Abbruch (7.7) signifikant von der Gruppe ohne Abbruch (6.0) unterschied $t(41) = 2.50$, $p < 0.05$, während sich die Gruppe mit vorübergehender Unterbrechung (7.4) nicht signifikant von den anderen zwei Gruppen unterschied $t_s < 1.5$. Der Zusammenhang zwischen der Art des Abbruchs und der Stärke der erlebten Überraschung läßt sich auch durch die Korrelation der zwei Maße ausdrücken, die $r = -.57$, $p < 0.001$ betrug.

Zeitpunkt des letzten Anschlags und Anzahl der Anschläge im kritischen Durchgang.

Wie bereits in Experiment 4 wurden für eine Analyse des Zeitpunktes des letzten Anschlags sowie die Anzahl der bis zu diesem Zeitpunkt abgegebenen Anschläge in den Experimentalblöcken 1-3 und im kritischen Durchgang nur die Personen berücksichtigt, die das Tapping im kritischen Durchgang abgebrochen oder unterbrochen hatten. Abbildung 20 stellt die zwei Indizes für die Latenz der Unterbrechung in Abhängigkeit vom SOA (200 vs. 400 ms) und der Art des Stopreizes (konventionelles Stoppsignal vs. überraschender Reiz) dar.

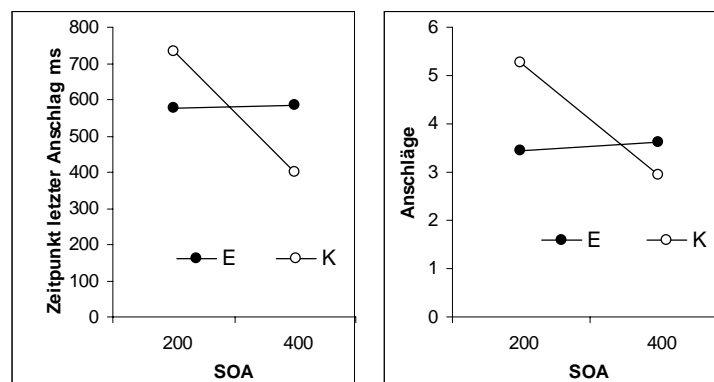


Abbildung 20. Zeitpunkt des letzten Anschlags (links) und Anzahl der insgesamt registrierten Anschläge (rechts) im kritischen Durchgang in Experiment 5. Die Ergebnisse sind - getrennt für Experimentalgruppe (E) und Kontrollgruppe (K) in Abhängigkeit vom SOA dargestellt

Die Hypothese einer interferenzfrei arbeitenden Unterbrechungsfunktion sagt eine Interaktion der Faktoren Art des Stopreizes (konventionelles Stoppsignal vs. überraschendes Ereignis im kritischen Durchgang) und SOA (200 vs. 400 ms) voraus. Eine entsprechende zweifaktorielle ANOVA für den Zeitpunkt des letzten Anschlags ergab einen marginal signifikanten Haupteffekt für das SOA, $F(1, 64) = 3.57$, $p = 0.06$, und

die vorhergesagte signifikante Interaktion der zwei Faktoren, $F(1, 64) = 4.03, p < 0.05$. Der Haupteffekt für die Art des Stoppreizes wurde nicht signifikant, $F < 1$. Die ANOVA für die Anzahl von Anschlägen ergab einen signifikanten Haupteffekt für das SOA, $F(1, 64) = 4.92, p = 0.05$, und eine signifikante Interaktion der zwei Faktoren, $F(1, 64) = 6.48, p < 0.05$. Der Haupteffekt für die Art des Stoppreizes wurde nicht signifikant, $F = 1.35$. Beide signifikanten Interaktionen gehen darauf zurück, daß sich in der Kontrollbedingung im kritischen Durchgang bei einem SOA von 200 ms höhere Werte für den Zeitpunkt des letzten Anschlags und die Anzahl abgegebener Anschläge ergeben als bei einem SOA von 400 ms, $t(28) = 2.89, p < 0.01$ bzw. $t(28) = 2.97, p < 0.01$, während sich die Werte in der Experimentalbedingung nicht signifikant voneinander unterscheiden (beide $t(36) < 1$).

Wie bereits im vorherigen Experiment wurden einige zusätzliche Analysen gerechnet, um die Robustheit der Befunde beurteilen zu können. Dabei zeigte sich erneut, daß eine Analyse ausschließlich der Personen, die das Tapping abgebrochen hatten, zu praktisch identischen Ergebnissen führt (wobei allerdings die Interaktion für den Zeitpunkt des letzten Anschlags nur noch tendenziell signifikant wurden; sie blieb jedoch signifikant für die Anzahl abgegebener Anschläge). Auch die Anwendung alternativer Definitionen für eine Unterbrechung veränderte das Datenmuster kaum.

Latenz der Unterbrechung

Für eine Schätzung der Latenz der Unterbrechung wurde (für die Experimentalgruppen) wie im vorherigen Experiment zum Zeitpunkt des letzten Anschlags (441 ms) das mittlere ITI / 2 der Experimentalblöcke 2-4 addiert (79 ms). Hieraus ergibt sich ein Wert von 520 ms.

Diskussion

Experiment 5 stellt einen starken Beleg für die Hypothese einer im Sinne des Interferenzkriteriums automatischen Unterbrechungsfunktion der Überraschung dar. Erstens konnte zum nun wiederholten Male gezeigt werden, daß Personen eine von ihnen ausgeführte Handlung tatsächlich in überwiegender Mehrzahl unterbrechen, wenn ein überraschendes Ereignis eintritt. Zweitens zeigte Experiment 5, daß diese Unterbrechung nicht in dem gleichen Maße wie eine willkürliche Unterbrechung einen PRP Effekt zeigte. Im Unterschied zu Experiment 4 kann dieses Ergebnis nicht auf eine Ver-

ringerung des PRP Effektes im kritischen Durchgang gegenüber den vorausgegangenen Durchgängen zurückgeführt werden, weil die Art des Stopreizes hier als Gruppenfaktor realisiert wurde und alle Messungen im gleichen Durchgang vorgenommen wurden. Da die Gruppen ausschließlich im kritischen Durchgang unterschiedlich behandelt wurden, kann dieses Experiment als eindeutiger Beleg einer unterschiedlichen Interferenzanfälligkeit von willentlichen Antworten auf Stoppsignale einerseits und der Reaktion auf ein überraschendes Ereignis andererseits gelten.

Im folgenden sollen nun einige Überlegungen zur Verallgemeinerbarkeit der in den Experimenten 4 und 5 erbrachten Ergebnisse dargestellt werden. Eine sehr wichtige Frage lautet, ob die Intention der Versuchspersonen, das Tapping zu beenden, bestimmend oder zumindest mitbestimmend für das Ergebnis war. Tatsächlich ist zu vermuten, daß die Versuchspersonen zum Zeitpunkt des überraschenden Ereignisses bereits eine Intention zum Beenden des Tappings gebildet haben, und diese Intention nicht erst nach Erhalt eines Stoppsignals bilden. Folgt man der Analyse von Neumann und Prinz (1986), so geht die Bildung von Intentionen den Handlungen nicht grundsätzlich *unmittelbar* voraus. Gerade in einer experimentellen Situation ist es dagegen eher plausibel anzunehmen, daß die Intention, die ursprünglich aufgrund der Instruktion gebildet wird, bedingte Operationen bereitstellt, die durch Aussagen wie "Wenn ein Reiz mit den Merkmalen XY erscheint, führe die Antwort Z aus" beschrieben werden können. Hiernach würde man also erwarten, daß die Person bereits zu Beginn jedes Durchgangs beabsichtigt, das Tapping zu beenden, wenn der richtige Reiz erscheint. Man könnte aufgrund dieser Überlegungen vermuten, daß Unterbrechungen möglicherweise seltener wären, wenn das Beenden des Tappings nicht bereits vor Erscheinen des überraschenden Reizes beabsichtigt wäre. Dies ist eine Hypothese, die letztlich empirisch entschieden werden muß. Man beachte allerdings, daß sich diese Hypothese auf das Kriterium der Intentionalität und nicht auf das Kriterium der Interferenz bezieht, dessen Überprüfung hier im Vordergrund stand. Weiterhin bedeuten diese Überlegungen nicht, daß die in den Experimenten 4 und 5 hergestellte Situation unrepräsentativ wäre, denn es gilt offensichtlich für fast alle Handlungen, daß ihr Abschluß vorauslaufend intendiert ist.

Ein Unterschied zwischen vielen alltäglichen Handlungen und der Situation in Experiment 4 und 5 könnte jedoch darin bestehen, daß bei alltäglichen Handlungen das Ende häufig nur *implizit* beabsichtigt ist: im Fokus der Aufmerksamkeit befindet sich in

der Regel ein durch die Handlung hervorgerufener Zielzustand (Prinz, 1998), und die Verwirklichung dieses Zielzustands signalisiert gleichzeitig das Ende der Handlung. Im vorliegenden Experiment wurde das Beenden der Handlung jedoch explizit intendiert, nämlich auf ein Stoppsignal hin das Tapping so rasch wie möglich abubrechen. Man könnte sich daher fragen, ob die Unterbrechung nicht möglicherweise am besten als ein Handlungsfehler aufgefaßt werden kann, wobei die intendierte Handlung des Abbruchs durch einen falschen Reiz ausgelöst wird (Norman, 1981). Diese Interpretation ließe sich weiter damit begründen, daß Stoppsignale die einzigen aufgabenrelevanten visuellen Reize waren, die während eines Durchgangs gezeigt wurden. Im Rahmen einer solchen Interpretation wäre es jedoch schwierig zu erklären, warum sich beim überraschenden Reiz kein PRP Effekt zeigte: wenn die *intendierte* Unterbrechung durch den überraschenden Reiz fehlerhaft ausgelöst wird, sollte diese Unterbrechung auch den gleichen PRP Effekt zeigen wie die durch das Stoppsignal ausgelöste Unterbrechung.

Eine Erklärung der Unterbrechung im kritischen Durchgang im Sinne eines Handlungsfehlers müßte also noch mindestens ein zusätzliches Element beinhalten, das die offensichtliche Interferenzunempfindlichkeit der Unterbrechung erklärt. Man könnte vielleicht auf die Idee kommen, daß die Interferenzunempfindlichkeit der Unterbrechung irgendwie mit dem unterschiedlich starken Kontrast von Stoppsignal und überras-

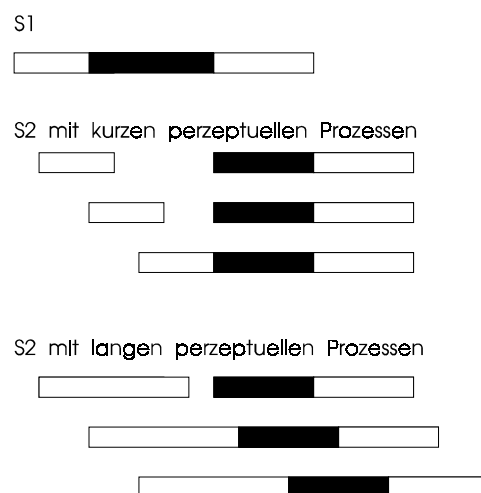


Abbildung 21. Grafische Veranschaulichung des Einflusses der Dauer der perzeptuellen Prozesse auf die Stärke des PRP Effektes.

schemem Reiz zusammenhängt. Während nämlich das Stoppsignal eine kleine, nur durch ihre dünnen Außenlinien dargestellte Raute war, war der überraschende Reiz eine mehrfach so große schwarz ausgefüllte Fläche. Zweifellos ist der Kontrast des überraschenden Reizes um ein vielfaches größer als der Kontrast des Stoppsignals. Tatsächlich ist aufgrund der Flaschenhalstheorie des PRP Effektes (z.B. Pashler, 1994) eine Interaktion zwischen dem Kontrast von R2 und dem PRP Effekt zu erwarten und auch bereits mehrfach demonstriert worden (z.B. VanSelst et al., 1999). Allerdings besteht der Interaktionseffekt darin, daß die *Verringerung* des Kontrastes zu einer *Reduktion* des PRP - Effektes führt. Am deutlichsten ist nämlich der PRP Effekt bei kontraststarken, leicht wahrnehmbaren Reizen, bei denen die perzeptuelle Verarbeitung relativ kurz ist; bei kontrastschwachen, schwer vom jeweiligen Hintergrund zu unterscheidenden Reizen, bei denen die perzeptuelle Verarbeitung relativ lang ist, kann es dagegen zu einer Verringerung des PRP Effektes kommen. Abbildung 21 verdeutlicht diesen Sachverhalt. Wie vorauslaufend eingeführt werden in Abbildung 21 die kapazitätsfreien Prozesse der sensorischen Verarbeitung und der motorischen Ausführung durch weiße Balken dargestellt, während die zentralen Prozesse, die einen Flaschenhals der Verarbeitung darstellen, durch einen schwarzen Balken dargestellt sind. Der Zeitfluß verläuft von links nach rechts. Die linke Kante des linken weißen Balkens repräsentiert den Beginn der sensorischen Verarbeitung, während die rechte Kante des rechten weißen Balkens das Ende der motorischen Verarbeitung und gleichzeitig die Ausführung der Reaktion repräsentiert. Entsprechend repräsentiert die Entfernung zwischen der linken Kante des linken weißen Balkens und der rechten Kante des rechten weißen Balkens die Reaktionszeit.

Der oberste Teil stellt die durch S1 ausgelösten Prozesse dar, wobei die durch den schwarzen Balken repräsentierten zentralen Prozesse der Verarbeitung von S1 zuerst abgeschlossen sein müssen, bevor die zentralen Prozesse von S2 beginnen können. Sehr wohl können während dieser Zeit jedoch die durch S2 ausgelösten perzeptuellen Prozesse ausgeführt werden, denn diese Prozesse stellen ja keinen Flaschenhals der Verarbeitung dar und sie können sowohl parallel zu der perzeptuellen Verarbeitung von S1 ausgeführt werden wie auch parallel zur zentralen oder motorischen Verarbeitung von S2. Der mittlere Teil der Abbildung zeigt für drei unterschiedliche SOA die Auswirkung des zentralen Flaschenhalses auf die Reaktionszeit auf einen S2 mit *kurzer* perzeptueller Verarbeitung. Wie ersichtlich, ergibt sich unter diesen Bedingungen ein

idealer PRP Effekt, wobei sich bei jeder Vergrößerung des SOA die Reaktionszeit um den gleichen Betrag erhöht. Der untere Teil der Abbildung zeigt dagegen für die gleichen drei SOA die Auswirkung des zentralen Flaschenhalses auf die Reaktionszeit auf einen S2 mit *langer* perzeptueller Verarbeitung. Auch hier können die zentralen Prozesse erst beginnen, nachdem die auf S1 bezogenen Prozesse beendet sind; dies hat allerdings nur bei dem kürzesten SOA einen Einfluß auf die Reaktionszeit denn nur hier wirkt sich der zentrale Flaschenhals auf den Beginn der zentralen Prozesse aus. Bei den anderen zwei SOA dagegen könnten – aufgrund der sehr lang andauernden perzeptuellen Prozesse – jedoch ohnehin nicht früher starten, und die Darbietung von S1 hat entsprechend keinen Einfluß auf die Reaktionszeit. Zusammengefaßt kann eine lange perzeptuelle Verarbeitung den PRP Effekt verringern. Diese theoretische Analyse zeigt also, daß die Einführung eines kontraststarken Reizes, was der überraschende Reiz im Vergleich zum Stoppsignal zweifellos war, eher zu einer Akzentuierung, nicht jedoch zu einer Verringerung des PRP Effektes führen sollte. Dieses Merkmal des überraschenden Reizes kann daher nicht für eine Erklärung der Ergebnisse im kritischen Durchgang herangezogen werden.

Abschließende Diskussion

Belege für eine Unterbrechungsfunktion der Überraschung

In dieser Arbeit wurde über fünf Experimente berichtet, die mit dem Ziel einer Untersuchung der Unterbrechungsfunktion der Überraschung durchgeführt worden sind. Experiment 1 zeigte in Übereinstimmung mit der Unterbrechungshypothese, daß bei Darbietung eines überraschenden Reizes die Leistung in einem Startdurchgang stärker leidet als die Leistung in einem Stoppdurchgang. Dieses Ergebnis wurde aufgrund folgender Überlegung vorhergesagt: In einen Startdurchgang stehen die instruktionsgemäße schnelle Antwort auf das Startsignal und die Unterbrechungsfunktion in Opposition zueinander; eine durch das überraschende Ereignis hervorgerufene Unterbrechung ist daher besonders leicht zu erkennen, da sie sich in einem *offensichtlich instruktionswidrigen* Verhalten äußert. In einem Stoppdurchgang dagegen würde die Unterbrechungsfunktion einen *instruktionsgemäß erscheinenden* Abbruch des Tappings herbeiführen. Experiment 2 replizierte dieses Ergebnis mit einer leicht veränderten Vorgehensweise, die einer Alternativerklärung der Ergebnisse von Experiment 1 begegnen sollte. In Ex-

periment 1 war das überraschende Ereignis nämlich eine Veränderung des Start- bzw. Stoppsignals, und daher ließ sich nicht ausschließen, daß die Versuchspersonen im kritischen Durchgang nicht wußten, was sie tun sollten und daraufhin die Aufgabenbearbeitung abbrachen. In Experiment 2 wurde der überraschende Reiz jedoch *zusätzlich* zum Signal dargeboten, so daß im kritischen Durchgang die gleichen handlungsrelevanten Reize erschienen wie in den Durchgängen zuvor und somit keine Handlungsunsicherheit bestand. Trotz der veränderten Vorgehensweise zeigte sich ein dem Experiment 1 analoges Ergebnismuster, das vollständig mit den aufgrund der Unterbrechungshypothese erwarteten Ergebnissen übereinstimmte. Darüber hinaus wurde in Experiment 2 eine zusätzliche Gruppe untersucht, in der der überraschende Reiz gemeinsam mit einem Weisersignal dargeboten wurde. Auch in dieser Gruppe zeigte sich – in Übereinstimmung mit der Unterbrechungshypothese – eine signifikante Reduktion der Anschlagsrate im kritischen Durchgang. In Experiment 3 wurde ein überraschendes Ereignis erstmalig ohne gleichzeitige Darbietung eines Signals gezeigt. Hier zeigte sich, daß eine Reduktion der Tappingrate bereits vor der Darbietung des Stoppsignals einsetzte. Dieses letzte Ergebnis, gemeinsam mit der signifikanten Reduktion der Tappingrate in der Gruppe Weiter in Experiment 2, ist insbesondere deshalb ein wichtiger Beleg für die Unterbrechungshypothese, weil hier eine weitere Alternativerklärung für die unterschiedliche Reaktion in den Start- und Stoppsgruppen nicht anwendbar war. Für Experiment 1 und teilweise für Experiment 2 könnte man als Alternativerklärung zur Unterbrechungshypothese nämlich anführen, daß die Versuchspersonen auf das Stoppsignal antworteten und nicht auf den überraschenden Reiz, denn diese zwei Reize wurden zeitgleich dargeboten. Diese Erklärung ließe sich damit untermauern, daß die Experimente 1 und 2 bereits gezeigt hatten, daß die Reaktion auf Stoppsignale deutlich früher erfolgt als die Reaktion auf Startsignale. Aufgrund dieses – vor Beginn der Untersuchung nicht vorausgesehenen Ergebnisses – wurde daher in den Experimenten 4 und 5 kein Signal zusätzlich zum überraschenden Reiz dargeboten. In diesen letzten beiden Experimenten hatte die ausschließliche Darbietung eines überraschenden Reizes bei mehr als zwei Dritteln der Versuchspersonen eine Unterbrechung zur Folge.

Die Ergebnisse der durchgeführten Experimente belegen jedoch nicht nur die Existenz der Unterbrechungsfunktion. Vielmehr geben diese Experimente auch Aufschluß über die Latenz der Unterbrechung. Für die Experimente 1 und 2 resultierten

Schätzungen für die Latenz der Unterbrechung von 330-400 ms. Etwas höhere Schätzungen lassen sich aus den Experimenten 4 und 5 ableiten, in denen die durchschnittlichen Latenzen des letzten Anschlags vor der Unterbrechung 424 ms bzw. 520 ms betrugen. Daß die Schätzungen aus den Experimenten 1 und 2 etwas geringer ausfallen ist nicht weiter verwunderlich unter der Annahme, daß sich die Abläufe im kritischen Durchgang angemessen als Wettlauf zwischen den Antwortprozessen auf das Stoppsignal und den Überraschungsprozessen konzeptualisieren lassen. Nach der Logik des Wettlaufmodells bestimmt derjenige Prozeß die Reaktionszeit, der früher abgeschlossen ist. Wie bereits früher gesagt ist es plausibel anzunehmen, daß die Zeitdauer jedes Prozesses unter anderem von Zufallsschwankungen beeinflusst wird (Logan & Cowan, 1984). Solange sich die Verteilungen dieser Zeitdauern überlappen, wird also jeder dieser Prozesse von Zeit zu Zeit den Wettlauf gewinnen. Zur Illustration sei für den Moment einmal angenommen, die zwei Prozesse A und B hätten die gleiche durchschnittliche Zeitdauer und wären gleichartigen zufälligen Schwankungen unterworfen. In 50% der Durchgänge wäre A schneller als die durchschnittliche Zeitdauer und in 50% der Durchgänge wäre A langsamer als die durchschnittliche Zeitdauer. Gleiches gilt für B. Die Reaktionszeit hängt von A *oder* B ab, welcher der zwei Prozesse auch immer den Wettlauf gewinnt. Wenn A einen schnellen Lauf (schnelle 50%) hat, dann ist die Reaktionszeit kurz. Aber auch wenn A einen langsamen Lauf hat (langsame 50%), besteht immer noch eine Chance von $p = 0.5$, daß B einen schnellen Lauf hat. Insgesamt kommt es also nur in 25% der Durchgänge vor, daß A *und* B einen langsamen Lauf haben und die Reaktionszeit daher länger als die durchschnittliche Reaktionszeit von A bzw. B ist; dagegen ist in 75% der Durchgänge die Reaktionszeit schneller als die durchschnittliche Reaktionszeit von A bzw. B. Wenn A und B also in einem Wettlauf gegeneinander antreten, ist die Reaktionszeit des Siegers im Durchschnitt kürzer als die durchschnittliche Reaktionszeit von A oder die durchschnittliche Reaktionszeit von B.

Nach der vorauslaufend ausgeführten Argumentation würde also die Schätzung der Unterbrechungslatenz aufgrund der Experimente 1 und 2 die tatsächliche Unterbrechungslatenz unterschätzen, wogegen die Schätzung aus den Daten der Experimente 4 und 5 eher den Tatsachen entsprechen sollte, und zwar weil es in diesen zwei Experimenten im kritischen Durchgang kein Stoppsignal gab und entsprechend keinen Wettlauf zwischen Prozessen der Beantwortung des Stoppsignals und den Überraschungsprozessen

sen gab. Möglicherweise führen die Daten aus diesen zwei Experimenten jedoch zu einer Überschätzung der Unterbrechungslatenz. So gab es in diesen zwei Experimenten einige wenige Reaktionszeiten über 1000 ms, die – ausgehend von der Annahme einer automatischen Unterbrechung – recht hoch erscheinen, denn schließlich nimmt das kognitiv-evolutionäre Modell der Überraschung an, daß der Unterbrechungsfunktion ausschließlich die Feststellung einer Schemadiskrepanz vorausgeht. Die besagten Unterbrechungslatenzen mit Werten größer als 1000 ms wurden in den Experimenten 4 und 5 aus zwei Gründen nicht eliminiert. Erstens treten Reaktionszeiten dieser Größenordnung bei schemakonformen Reizen als Folge der Doppelaufgabe durchaus auf, und eine Eliminierung solcher Reaktionszeiten in der Bedingung mit schemadiskrepantem Reiz hätte somit zu einer verschiedenen Behandlung der zwei Bedingungen geführt. Zweitens sollten die Experimente 4 und 5 ja gerade untersuchen, ob die Unterbrechungsfunktion automatisch ist oder nicht. Eine Eliminierung langer Reaktionszeiten mit der Begründung, daß sie der Automatizitätsannahme widersprechen, wäre daher zirkulär gewesen. Es ist durchaus denkbar, daß die langen Reaktionszeiten nicht durch die Unterbrechungsfunktion verursacht wurden, sondern daß hier Personen, die entweder keine Unterbrechung zeigten oder deren automatische Unterbrechung aufgrund der angelegten Kriterien nicht entdeckt wurde, zu einem späteren Zeitpunkt willkürlich als Reaktion auf das überraschende Ereignis mit dem Tapping aufhörten. Die vorauslaufenden Überlegungen lassen darauf schließen, daß die Daten aus den Experimenten 1 und 2 eher zu einer Unterschätzung und die Daten aus den Experimenten 4 und 5 eher zu einer Überschätzung der Unterbrechungslatenz der Überraschung führen könnten. Entsprechend scheint es eine vernünftige vorläufige Schlußfolgerung aus den vorliegenden Experimenten zu sein, für die Unterbrechungsfunktion eine Latenz von etwa 400 ms anzunehmen.

Zusammengefaßt konnte die unterbrechende Wirkung von Überraschung über eine ganze Reihe von experimentellen Situationen mit leicht variierenden Bedingungen demonstriert werden. Die überzeugende Demonstration einer unterbrechenden Wirkung von Überraschung ist insofern ein wichtiges Ergebnis für die Erforschung der Emotion Überraschung, als daß dieses Merkmal vorauslaufend zwar von vielen Autoren postuliert wurde, wirkliche Belege für diese Annahme jedoch bisher fehlten. Wie in der Einleitung dieser Arbeit ausgeführt wurde, konnten die bisherigen Experimente im Diskre-

ten Paradigma keine Belege für diese Annahme erbringen, da hier Handlungsverzögerungen, nicht jedoch Handlungsunterbrechungen beobachtet werden konnten.

Belege für eine interferenzfreie Unterbrechung

Die zwei Experimente 4 und 5 dienten dazu, erste Belege dafür zu erbringen, daß die Unterbrechungsfunktion der Überraschung automatisch im Sinne des Interferenzkriteriums der Automtizität ist. Genauer gesagt sollte gezeigt werden, daß eine auf einen überraschenden Reiz gezeigte Unterbrechung einer Handlung interferenzfrei abläuft, während eine willkürliche Unterbrechung unter sonst gleichen Bedingungen Interferenz erleidet. Aufgrund von Vorstudien und aufgrund der in der Literatur berichteten Ergebnisse wurde für die Untersuchung der PRP Effekt als sehr effektstarkes Interferenzphänomen ausgewählt. Neben dieser eher methodischen Überlegung waren inhaltliche Überlegungen ausschlaggebend für die Wahl des PRP Effektes. Der PRP Effekt wird nämlich von einer Reihe von Autoren als eng verknüpft mit einem Merkmal *willentlicher* Prozesse angesehen. Sollte die Unterbrechungsfunktion der Überraschung daher keinen PRP Effekt zeigen, ließe das darauf schließen, daß der Unterbrechungsfunktion ein wichtiges Merkmal willentlicher Prozesse fehlt.

Experimente 4 und 5 zeigten, daß eine willentliche Unterbrechung erwartungsgemäß einen PRP Effekt zeigte, während ein solcher PRP Effekt für die durch einen überraschenden Reiz ausgelöste Unterbrechung nicht beobachtet wurde. Aufgrund der früheren Diskussion der Kriterien der Automtizität ist klar, daß dieses Ergebnis zurückhaltend interpretiert werden sollte. Nach einer sehr vorsichtigen Interpretation legt dieses Ergebnisses zumindest nahe, daß die durch das überraschende Ereignis ausgelöste Unterbrechung nicht durch den gleichen Mechanismus vermittelt zu sein scheint wie die willentliche Unterbrechung. Diese Interpretation ist vollständig vereinbar mit der Hypothese, daß die Unterbrechung nicht durch eine bewußte Intention, sondern durch den Überraschungsmechanismus direkt hervorgerufen wird. Man beachte, daß diese Interpretation nicht von der theoretischen Positionen bezüglich des Konzeptes von Automtizität abhängig ist, denn diese Aussage läßt sich ohne Bezug auf Automtizität oder einzelne seiner Kriterien oder Merkmale treffen. Diese Aussage kann so getroffen werden, daß sie sich ausschließlich auf den Sachverhalt bezieht, daß die Antworten auf

das Stoppsignal ein anderes Verhalten in Abhängigkeit von einer experimentellen Manipulation zeigten als das Verhalten nach einem überraschenden Ereignis.

Etwas weniger vorsichtig ist die Aussage, daß die Ergebnisse eine Automatisität der Unterbrechungsfunktion im Sinne des Interferenzkriteriums belegen. Hierzu muß dann allerdings zugestanden werden, daß das Interferenzkriterium ein wichtiges Merkmal von Automatisität überprüft und daß die untersuchte Interferenz für den Unterschied zwischen willkürlichen und automatischen Prozessen relevant ist. Wie in der Einleitung zu dieser Arbeit berichtet wurde, wird für den PRP Effekt ein zentraler Flaschenhals der Informationsverarbeitung bei der Antwortauswahl verantwortlich gemacht. Dieser zentrale Flaschenhals scheint ein zentrales Merkmal willkürlicher Prozesse zu sein, und aus diesem Grund halte ich die Aussage für zulässig, daß die Unterbrechungsfunktion automatisch im Sinne des Interferenzkriteriums ist. Es wäre allerdings wünschenswert, daß dieses Ergebnis in weiteren Experimenten mit Hilfe konvergierender Operationen ebenfalls hervorgebracht wird. Eine mögliche konvergierende Operation könnte die Anzahl der Antwortalternativen sein, die durch die experimentelle Aufgabe vorgegeben werden. Seit der klassischen Arbeit von Merkel (1885; zitiert nach Woodworth & Schlosberg, 1954) ist bekannt, daß die Wahlreaktionszeit mit zunehmender Anzahl von möglichen Antworten ansteigt. Offensichtlich können die verschiedenen Antwortmöglichkeiten nicht effizient, d.h. *parallel* und ohne sich gegenseitig zu stören, verarbeitet werden. Ausgehend von der Hypothese eines zentralen Flaschenhalses für die Antwortwahl ist dieses Ergebnis selbstverständlich wenig verwunderlich. Wenn nämlich nur jeweils eine Wahl zu einem Zeitpunkt getroffen werden kann, dann sollten mehrere Wahlen *seriell* ausgeführt werden. Hick (1952) hat als erster darauf hingewiesen, daß die Reaktionszeit *linear* von der Anzahl *binärer* Entscheidungen abhängt. Offenbar ist die zeitaufwendige und nur in einem seriellen Verarbeitungsmodus durchführbare Operation die Entscheidung zwischen je zwei Handlungsalternativen. Das willkürliche Beenden einer Handlung sollte daher langsamer sein, wenn die experimentelle Aufgabe insgesamt vier verschiedene Antwortarten beinhaltet als wenn die Aufgabe nur zwei verschiedene Antwortalternativen beinhaltet. Im Unterschied dazu führt die Hypothese einer interferenzfreien Unterbrechungsfunktion zu der Vorhersage, daß ein überraschendes Ereignis unabhängig von der Anzahl der durch die experimentelle Aufgabe vorgegebenen Antwortalternativen immer gleichschnell eine Unterbre-

chung hervorruft. Über eine mit der Antwortauswahl im engeren Sinne zusammenhängende Interferenz hinaus wäre es jedoch auch interessant, andersartige Interferenzphänomene zu verwenden und ihren Einfluß auf die Überraschungsreaktion zu untersuchen. Voraussetzung wäre allerdings, daß diese Interferenzphänomene hinreichend stark sind, damit angesichts nur eines kritischen Durchgangs die Wahrscheinlichkeit für das Auffinden eines Effektes nicht von vorneherein als gering einzuschätzen ist.

Zusammengefaßt zeigten die zwei Experimente 4 und 5, daß die Unterbrechungsfunktion der Überraschung resistent gegenüber einem für willkürliche Prozesse typischen Interferenzphänomen ist und daß es sich hierbei um einen replizierbaren Effekt handelt. Zukünftige Experimente werden nun zeigen müssen, ob diese Interferenzfreiheit eine Besonderheit der Interaktion zwischen Unterbrechungsfunktion und dem hier verwendeten Interferenzphänomen ist oder ob konvergierende Operationen das gleiche Ergebnis hervorbringen.

Belege für eine nichtintentionale Unterbrechung

Eine genaue experimentelle Untersuchung des Intentionalitätskriteriums gehörte nicht zu den Zielen der vorliegenden Arbeit. Dennoch lassen sich aufgrund der hier vorgestellten Ergebnisse einige vorsichtige Aussagen über das Kriterium der Intentionalität treffen. Hierbei ist allerdings daran zu erinnern, daß das Intentionalitätskriterium eine Reihe von Interpretationen zuläßt. Eine erste wichtige Frage ist, ob eine bewußte Intention *notwendig* für die Unterbrechung ist – ob die Unterbrechung also willkürlich oder unwillkürlich ist. Für eine Beantwortung dieser Frage bieten die vorliegenden Experimente durchaus einige Anhaltspunkte. Wenn Personen in den dargestellten Experimenten aufgrund eines überraschenden Ereignisses eine Unterbrechung zeigten, dann taten sie dies entgegen einer aufgrund der Instruktion gebildeten Absicht (eine kooperative Versuchsperson vorausgesetzt). Die Instruktionen beinhalteten nämlich explizit die Anforderungen, das Tapping nicht vor einem Stoppsignal zu beenden (dann jedoch möglichst schnell). Mit anderen Worten, eine Unterbrechung in Abwesenheit eines Stoppsignals ist im Kontext der experimentellen Aufgabe ein Fehler. Nun ist dies zunächst noch kein eindeutiger Beleg für eine Unabsichtlichkeit der Unterbrechung. Als alternative Erklärung könnte man etwa einen *Intentionswechsel* annehmen. Nach diesem Szenario bestand zwar während des gesamten Experimentes eine Intention, so schnell wie

möglich auf das Stoppsignal und nur auf das Stoppsignal mit einer Unterbrechung des Tappings zu antworten. Angesichts des überraschenden Ereignisses wurde dann diese Absicht jedoch aufgegeben und durch die Absicht ersetzt, das Tapping zu beenden und eine Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses auszuführen. Ein gewichtiges Argument gegen diese Interpretation läßt sich aus den Experimenten 4 und 5 ableiten. Wenn die Unterbrechung im kritischen Durchgang durch eine Intention vermittelt war, hätte sie ebenso wie die *per definitionem* intentionale Antwort auf das Stoppsignal einen PRP Effekt zeigen müssen. Dies war jedoch nicht der Fall.

Eine zweite Interpretationsweise des Intentionalitätskriteriums stellt die Frage nach der intentionalen Einflußnahme auf den Prozeß: Sind Intentionen *hinreichend* für eine Veränderung – beispielsweise eine Unterdrückung oder einen Abbruch – des automatischen Prozesses? Diese Spielart des Intentionalitätskriteriums findet sich beispielsweise bei Jonides (1981), der die Unmöglichkeit einer intentionalen Unterdrückung der unwillkürlichen Aufmerksamkeitszuwendung für ein besonders überzeugendes Merkmal eines automatischen Prozesses hält. Über diese zweite Interpretation lassen sich aus den hier vorgestellten Ergebnissen keinerlei Aussagen machen. Eine Untersuchung dieser Frage wäre aus mehreren Gründen bedeutsam. Erstens hätte ein Beleg der Unmöglichkeit der intentionalen Einflußnahme einige Bedeutung hinsichtlich des in der Evolutionären Psychologie wichtigen Konzeptes der Modularität (siehe z.B. Cosmides & Tooby, 1994, aber auch kritisch dazu Shapiro & Epstein, 1998). Viele evolutionäre Psychologen nehmen nämlich an, daß der menschliche Geist aus einer großen Anzahl spezialisierter und weitgehend unabhängig entstandener kognitiver Module besteht. Diese kognitiven Module werden im Sinne Fodors (1985) als informational eingekapselt aufgefaßt: "Ein Modul ist (unter anderem) ein informational eingekapseltes computationales System – ein Schlußfolgerungen ziehender Mechanismus, dessen Zugang zu Hintergrundinformationen [...] beschränkt ist" (S. 3). Module sind "smarter" als Reflexe, teilen aber deren Merkmal der informationalen Einkapselung, d.h. beide laufen "größtenteils ohne Bezug zu den Überzeugungen und Nutzenüberlegungen des sich verhaltenden Organismus ab" (S. 2). Gerade das letzte Zitat macht die Nähe des Modularitätskonzeptes zum Intentionalitätskriterium der Automatizität augenfällig. Wenn sich zeigen ließe, daß die Unterbrechungsfunktion nicht durch Intentionen in ihrem Ablauf beeinflusst wird, würde dies auch eine Modularität des zugrundeliegenden Mechanismus im Sinne

Fodors nahelegen, die von evolutionären Psychologen als charakteristisches Merkmal von Adaptationen angesehen wird.

Zweitens sei an die Idee einer Ökologie kognitiver Prozesse erinnert, die Bargh (1992) thematisiert hat. Bargh hatte darauf hingewiesen, daß die Kriterien der Automatisität wichtige Merkmale sind, die bei einer Verallgemeinerung psychologischer Ergebnisse vom Labor auf den Alltag zu berücksichtigen sind. Das Intentionalitätskriterium kann dabei beispielsweise die Frage betreffen, ob eine Person, die eine Maschine bedient oder ein Auto führt und dabei Verantwortung für ihre Gesundheit und die anderer Personen sowie für materielle Werte trägt, bei möglicherweise zeitkritischen Aufgaben unterbrochen werden kann. Eine Antwort berührt dabei nicht nur Fragen des ergonomischen und ökologischen Designs, sondern ebenfalls moralische und legale Fragen, für die Fragen der Kontrollierbarkeit und Verantwortlichkeit zentral sind. Wenn nämlich eine durch ein überraschendes Ereignis hervorgerufene Unterbrechung unwillkürlich ist und von der Person nicht hätte verhindert werden können, kann die Person entsprechend auch nicht für die Folgen dieser Unterbrechung verantwortlich gemacht werden.

Unterbrechung kognitiver Prozesse vs. Unterbrechung motorischer Prozesse

In den hier berichteten Experimenten wurden Unterbrechungen des motorischen Ausdrucks von Handlungen beobachtet. Diese Experimente unterstützen also insbesondere die Aussagen früherer Autoren wie Shand (1914) oder Darwin (1872), deren Beschreibungen auf die Unterbrechung der motorischen Ausführung von Handlungen bzw. eines beobachtbaren Erstarrens abhoben. Die in dieser Arbeit untersuchte Unterbrechungshypothese postuliert jedoch eine Unterbrechung motorischer *und* kognitiver Prozesse. Genauer gesagt wird die motorische Unterbrechung vom Standpunkt des kognitiv-evolutionären Modells der Überraschung sogar nur als *Nebeneffekt* einer Unterbrechung kognitiver Prozesse angesehen: Kognitive Prozesse werden unterbrochen, weil zentrale Verarbeitungsressourcen für die Analyse und Bewertung des überraschenden Ereignisses benötigt werden; und motorische Vorgänge werden unterbrochen, weil die an ihrer Steuerung beteiligten kognitiven Prozesse unterbrochen werden. Es wäre nun aber auch denkbar, daß die hier beobachtete Unterbrechung einer Handlung unabhängig von einer möglichen Unterbrechung kognitiver Prozesse geschah. Wie früher bereits

ausführlich begründet wurde, wäre eine spezialisierte motorische Unterbrechungsfunktion unter evolutionspsychologischer Perspektive durchaus plausibel zu machen.

Die zwei Hypothesen machen eine Reihe unterschiedlicher Vorhersagen. Nach der kognitiven Unterbrechungshypothese würde man beispielsweise nicht erwarten, daß eine ballistische Bewegung unterbrochen wird. Eine Bewegung ist ballistisch oder unter "open loop control" (Schmidt, 1988), wenn die Handlung vollständig *vor* ihrer Initialisierung programmiert wird. Der Begriff "ballistisch" bezieht sich hierbei auf die Abwesenheit einer kognitiven Bewertung des während der Bewegung produzierten Feedbacks und einer darauf aufbauenden Korrektur der Bewegung. Der Begriff bezieht sich übrigens nicht auf die Form der Bewegung; ballistische Bewegungen können gerade oder kurvig sein, und sie können Richtungsänderungen (wie bei einer s-förmigen Bewegung) beinhalten. Unter der Annahme einer motorischen Unterbrechung würde man dagegen erwarten, daß auch ballistische Bewegungen unterbrochen werden. Eine Schwierigkeit für eine empirische Untersuchung der Unterbrechbarkeit ballistischer Bewegungen könnte allerdings darin bestehen, daß ballistische Bewegungen normalerweise von relativ kurzer Dauer (mit Bewegungszeiten von bis zu 200-300 ms; siehe Schmidt, 1988) sind, so daß es schwierig sein könnte, das überraschende Ereignis zeitlich so zu positionieren, daß die Unterbrechungsfunktion *während* der Bewegung einsetzt (Dieses Problem wurde ausführlich im Zusammenhang mit der Interpretation von Reaktionszeitverlängerungen im Diskreten Paradigma diskutiert). Eine weitere Möglichkeit der Untersuchung dieser Frage könnte darin bestehen, die Unterbrechbarkeit wenig und gut geübter Handlungen zu vergleichen. Unter der Annahme einer vor allem motorischen Unterbrechung sollten wenig und gut geübte Handlungen ähnlich leicht unterbrochen werden können. Demgegenüber würde die Annahme einer nur kognitiven Unterbrechung erwarten lassen, daß wenig geübte Handlungen, die ein hohes Maß an kognitiver Kontrolle erfordern, leichter unterbrochen werden können als gut geübte Handlungen, die nur ein geringes Maß an kognitiver Kontrolle erfordern.

Unterbrechung aller oder nur einer Teilmenge kognitiver Prozesse

Man kann sich fragen, ob denn tatsächlich *alle* kognitiven Prozesse unterbrochen werden oder aber nur eine *Teilmenge* von kognitiven Prozessen. In dem kognitiv-evolutionspsychologischen Modell der Überraschung wird die Notwendigkeit einer

Unterbrechung damit begründet, daß damit eine Interferenz zwischen der ablaufenden Handlung und den Prozessen der Analyse und Bewertung vermieden werden kann. Geht man davon aus, daß Interferenz spezifisch ist und durch überlappende Anforderungen zweier Aufgaben entsteht (z.B. Neumann, 1984), könnte es sich als unnötig erweisen, alle kognitiven Prozesse zu unterbrechen. Es müßten nämlich nur solche Prozesse unterbrochen werden, die eine Analyse des überraschenden Ereignisses stören könnten. Prozesse, die mit diesen Analyseprozesse keine überlappenden Anforderungen aufweisen, könnten dagegen weiterlaufen.

Von dieser Voraussetzung ausgehend kann man weiter überlegen, ob für alle im Anschluß an die Überraschungsreaktion durchgeführten kognitiven Prozesse eine Unterbrechung nötig ist, oder ob einige Prozesse problemlos zu einem späteren Zeitpunkt ausgeführt werden können. So läßt sich etwa die Meinung vertreten, daß die Unterbrechung nur der kurzfristigen adaptiven Funktion einer unmittelbaren Reaktion auf das überraschende Ereignis dient. Nur hier ist nämlich eine *sofortige* Unterbrechung notwendig, damit auf persönlich bedeutsame Ereignisse – insbesondere Gefahren – schnell reagiert werden kann. Dagegen könnten Prozesse, die der langfristigen adaptiven Funktion der Schemaanpassung dienen (und man könnte ergänzen, Prozesse, die mögliche Pläne bezüglich der Kontrolle des Ereignisses betreffen), ebensogut ausgeführt werden, nachdem die aktuelle Handlung zum Abschluß gebracht wurde.

Weiterhin ist zu überlegen, ob einer oder mehrere der Analyse- und Bewertungsprozesse in vielen Fällen überhaupt gar keine begrenzten zentralen Ressourcen benötigen. Dies wäre etwa der Fall, wenn die Verifikation der Schemadiskrepanz in vielen Fällen nur darin besteht, daß ein überraschendes Ereignis – möglicherweise nach einer Orientierung der Aufmerksamkeit auf ein ursprünglich nur *en passant* wahrgenommenes Ereignis – ein zweites mal sensorisch verarbeitet wird, was keine zentralen Ressourcen erfordert (Pashler, 1994). Weiterhin könnte die Einschätzung eines Ereignisses als positiv oder negativ häufig bereits durch die Identifikation des überraschenden Reizes etwa als "ausgewachsener Tiger" oder "extragroße Ananas" als schematisierte Einschätzung (Meyer et al., 1995) bereitgestellt werden. Bewertungen allerdings, die sich erst aus der Konstellation von überraschendem Reiz und anderen Situationsmerkmalen ergeben, sollten sehr wohl zentrale Ressourcen in Anspruch nehmen (siehe Mandler, 1992b). Die kausale Analyse des überraschenden Ereignisses hat eine beson-

dere Bedeutung im Hinblick auf das langfristige adaptive Ziel der Überraschung (Meyer et al., 1995) und könnte insofern zurückgestellt werden. Zwar erfordert eine zutreffende Einschätzung des Ereignisses als positiv oder negativ in Einzelfällen eine kausale Analyse, man könnte sich jedoch vorstellen, daß eine erste "schnelle und unsaubere" Einschätzung des überraschenden Reizes zunächst ohne eine aufwendige kausale Analyse auskommen kann.

Als indirekten Beleg für die Annahme, daß mehrere der Analyse- und Bewertungsprozesse entweder parallel zu Prozessen der Handlungssteuerung ablaufen oder erst nach Beendigung der ablaufenden Handlung durchgeführt werden läßt sich im übrigen die Dauer der Reaktionszeitverzögerungen bzw. der Handlungsunterbrechungen heranziehen, wie sie in der vorliegenden Arbeit und in den Untersuchungen im Diskreten Paradigma gefunden wurden. Die Reaktionszeitverzögerungen betrugen häufig nur wenige 100 ms (vergleiche beispielsweise Abbildung 4), und selbst unter Berücksichtigung des SOA zwischen dem überraschenden Reiz und dem Zielreiz⁴ würde sich für die Dauer der Analyse des überraschenden Reizes eine Schätzung von weniger als einer Sekunde ergeben. Daß eine vollständige kontrollierte Analyse des überraschenden Ereignisses in Bezug auf die Validität der Wahrnehmung, der kausalen Struktur, der persönlichen Bedeutsamkeit und Handlungsrelevanz (sowie möglicherweise weiterer Bewertungskriterien; siehe Meyer et al., 1997) in dieser kurzen Zeit ablaufen können, scheint nicht sehr plausibel zu sein, denn bewußte kontrollierte Prozesse sind bekanntlich eher langsam.

Im Unterschied zu den vorauslaufend angesprochenen Prozessen könnte jedoch die Bewertung der Handlungsrelevanz des überraschenden Ereignisses der Prozeß sein, der hauptsächlich vor einer Interferenz durch die gerade ablaufende Handlung geschützt werden muß. Gemeinsam mit der Bewertung des Ereignisses als positiv oder negativ stellt die Bewertung der Handlungsrelevanz das eigentliche Herzstück der Prozesse dar, die dem kurzfristigen adaptiven Ziel dienen. Überlegt man genau, welche Operationen

⁴ In vielen Experimenten wurde der überraschende Reiz 500 ms vor dem Zielreiz gezeigt. Rein rechnerisch steht der überraschende Reiz in diesen 500 ms für eine Analyse und Bewertung zur Verfügung. Diese 500 ms plus die Reaktionszeitverlängerung stellen daher eine einfache Schätzung der Zeit der Analyse und Bewertung des überraschenden Reizes vor der Ausführung der Handlung auf den Zielreiz dar.

denn während der Bewertung der Handlungsrelevanz durchgeführt werden, stellt man fest, daß hier zumindest ein zentraler Prozeß vorkommt, über den in dieser Arbeit bereits häufig gesprochen wurde, und zwar die Antwortwahl. Wenn nämlich entschieden werden muß, ob und wie auf den überraschenden Reiz hin gehandelt werden soll, dann besteht die Aufgabe ganz zentral in einer Wahl zwischen Alternativen. Man könnte sich daher vorstellen, daß die Unterbrechungsfunktion insbesondere dazu dient, diesen Flaschenhals der Verarbeitung für die Bewertung der Handlungsrelevanz freizumachen. Diese Überlegung ist insbesondere konsistent mit den Ergebnissen des diskreten Paradigmas sowie der Gruppen in den vorliegenden Experimenten, in denen gleichzeitig mit dem überraschenden Ereignis ein Startsignal gezeigt wurde. Hiernach würde die Antwort auf den Zielreiz deshalb *verzögert*, weil das überraschende Ereignis die Beurteilung von Handlungsalternativen auslöst. Nach dieser Interpretation wäre die Handlungsverzögerung also ein wahrhafter PRP Effekt.

Etwas weniger plausibel ist diese Interpretation allerdings für eine *Unterbrechung* des Tappings. In Abwesenheit eines Signals ist es eigentlich nicht offensichtlich, daß während der Ausführung des Tappings Wahlen zwischen Antwortalternativen vorgenommen werden müßten. Zweifellos werden die Versuchspersonen hier gelegentlich kontrollieren müssen, ob sie die Bewegung noch instruktionsgemäß ausführen, z.B. ob sie noch die Tasten richtig treffen, ob das Tapping halbwegs gleichmäßig erfolgt oder ob die Geschwindigkeit des Tappings noch stimmt (z.B. Sternberg, Monsell, Knoll & Wright, 1978). Hierbei werden sich gelegentlich Korrekturen als notwendig erweisen, und diese Korrekturen werden vermutlich einen Flaschenhals der Verarbeitung in Anspruch nehmen (Keele, 1973; Schmidt, 1988). Weiterhin ist davon auszugehen, daß die Dauer des Tappings, die durch einen Durchlauf des entsprechenden Motorprogramms gesteuert wird, begrenzt ist. Entsprechend muß das Programm von Zeit zu Zeit neu initialisiert werden, und eine solche Initialisierung besetzt möglicherweise den gleichen Flaschenhals wie die Antwortwahl (Pashler, 1994).

Wie lang ein Durchlauf eines Motorprogramms sein kann, ist leider jedoch weniger klar. Shapiro (1977) kommt auf der Basis zweier verschiedener Auswertungen zu dem Ergebnis, daß bei der von ihr verwendeten Aufgabe die Dauer eines Durchlaufs des motorischen Programms etwa 950 ms oder mindestens 1600 ms beträgt. Eine Studie von Pew (1966), in der die Versuchspersonen (im Rahmen einer allerdings etwas ande-

ren Aufgabe) wie in der vorliegenden Untersuchung ein möglichst schnelles und gleichmäßiges alternierendes Tapping auszuführen hatten, legt eine Dauer des Motorprogramms von 2-8 s nahe. Diese letzte Schätzung würde also bedeuten, daß es durchaus denkbar wäre, daß die gesamte Ausführung des Tappings zwischen einem Startsignal und dem nächsten Stoppsignal von einem Durchlauf eines Motorprogramms gesteuert wird. Andererseits ist ebenfalls denkbar, daß es im Kontext der in den Experimenten 1-5 verwendeten Aufgabenstellungen günstiger war, ein kürzeres Motorprogramm zu verwenden, das jeweils nur 2 oder 4 Anschläge umfaßt und anschließend neuinitialisiert werden muß. An dieser Stelle sei ergänzt, daß mit hoher Sicherheit davon ausgegangen werden kann, daß für die Ausführung des Tappings ein Motorprogramm verwendet wurde, da die Frequenz der Tastenanschläge für ein geschlossenes Kontrollsystem ('closed loop control', Pew, 1966; Schmidt, 1988) zu schnell ist.

Nach dem bisherigen Stand der Diskussion scheint es also im Bereich des Möglichen zu liegen, daß die Unterbrechung des Tappings deshalb geschah, weil die Überraschungsreaktion für die Analyse der Handlungsrelevanz Ressourcen bereitstellte, die infolgedessen nicht mehr für (a) eine Korrektur von schwerwiegenden Fehlern bei der Ausführung des Tappings oder (b) die Neuinitiierung des das Tapping steuernden Motorprogramms verfügbar waren. Ich nehme an, daß schwerwiegende Fehler, die ohne Korrektur einen Abbruch des Tappings zur Folge haben, bei der Ausführung einer solch einfachen Handlung wie ein Tapping, nicht so häufig auftreten, als daß sie die Häufigkeit der (beispielsweise in Experiment 4 und 5) beobachteten Unterbrechungen erklären könnten. Gerade bei diesen zwei Experimenten ist es jedoch eher unwahrscheinlich, daß die Versuchspersonen Motorprogramme mit einer solch kurzen Laufzeit verwendeten, daß die Unmöglichkeit einer Neuinitiierung des Programms eine solch zügig einsetzende Unterbrechung hätte hervorrufen können. Weil nämlich in diesen Experimenten eine zweite Aufgabe zu erledigen war, wäre es die optimale Strategie gewesen, ein Motorprogramm mit einer möglichst langen Laufzeit zu verwenden. Nur mit einem Motorprogramm mit einer langen Laufzeit wäre es möglich gewesen, die Doppelaufgabe möglichst störungsfrei auszuführen. Ein kurzes Motorprogramm hätte dagegen eine Neuinitialisierung in zeitlicher Nähe mit der Auswahl oder Initiierung der verbalen Antwort erfordert. Dies hätte jedoch zu Konflikten zwischen der Neuinitiierung des Tappings und der verbalen Antwort geführt und eine von beiden oder beide Aufgaben

beeinträchtigt. Um in Übereinstimmung mit der Instruktion zu handeln, dürfte die von den Versuchspersonen ausgewählte Strategie daher die Verwendung eines langandauernden Motorprogramms beinhaltet haben.

Die Funktion der vorauslaufend dargelegten Diskussion des Für und Wider einer allgemeinen vs. spezifischen Unterbrechung war, einen ersten konzeptionellen Grundstein für die Behandlung dieser Frage bereitzustellen. Zur Klärung dieser Frage werden jedoch weitere Experimente unumgänglich sein. Hierbei ist insbesondere an Experimente zu denken, in denen Merkmale der zu unterbrechenden Handlung variiert werden – oder genauer gesagt: Merkmale dieser Handlung zugrundeliegender Prozesse. So könnte man etwa die Versuchspersonen veranlassen, Motorprogramme mit einer kurzen oder einer langen Laufzeit zu verwenden und als abhängige Variable die Latenz der Unterbrechung erfassen. Wenn eine Handlung tatsächlich deshalb unterbrochen wird, weil die Korrektur eines fatalen Fehlers oder die Neuinitiierung des Motorprogramms unterbleibt, dann sollte die Unterbrechung bei Motorprogrammen mit langer Laufzeit im Durchschnitt länger sein als bei solchen mit kurzer Laufzeit.

Bewertung des Kontinuierlichen Paradigmas

Das Ziel bei der Entwicklung des Kontinuierlichen Paradigmas war, die Unterbrechungsfunktion der Überraschung untersuchbar zu machen. Die erste Hauptzielvorgabe bestand darin, die Dauer der als experimentelle Aufgabe auszuführenden Handlung deutlich zu erhöhen und so eine für die Untersuchung der Unterbrechungsfunktion schwerwiegende Unzulänglichkeit des Diskreten Paradigmas zu beseitigen. Die zweite Hauptzielvorgabe war, für eine Untersuchung der Automatisierung der Unterbrechungsfunktion zudem die Untersuchung einer willentlichen Handlungsunterbrechung zu ermöglichen. Des weiteren waren eine ganze Reihe von Nebenbedingungen zu beachten. So mußte es etwa möglich sein, die an sich kontinuierliche Handlung mit einer hinreichend hohen Samplingrate zu überwachen, damit Fortgang vs. Unterbrechung der Handlung bestimmt werden können; ein solcher Index für den Ablauf der Handlung sollte zudem leicht registrierbar und die gewonnenen Daten für eine weitere Verarbeitung geeignet sein; die Handlung sollte möglichst auf Fertigkeiten aufbauen, über die die Versuchsperson bereits verfügt, damit nicht erst eine zeitaufwendige Übungsphase durchgeführt werden muß; und die Handlung sollte in möglichst geringem Ausmaß auf

eine fortlaufende Informationsaufnahme angewiesen sein, um bei der Darbietung zusätzlicher Reize (Start- und Stoppsignale, überraschende Reize, Reize der Zusatzaufgabe in Experiment 4 und 5) keine Informationsüberladung der Versuchsperson entstehen zu lassen.

Zweifelloos erfüllt das kontinuierliche Paradigma alle Anforderungen in zumindest ausreichender Form. Allerdings wurde auch deutlich, daß die Samplingrate beim Tapping dann ein Problem darstellt, wenn – wie im kritischen Durchgang – nicht über eine ganze Anzahl von Durchgängen aggregiert werden kann, weil für jede Person nur ein einziger Durchgang für die Auswertung verfügbar ist. Dies hat zur Konsequenz, daß relativ viele Versuchspersonen getestet werden müssen um hinreichend stabile und statistisch signifikante Ergebnisse zu erlangen. Darüber hinaus ist zu vermuten, daß einige Fragestellungen überhaupt nicht untersucht werden können, wenn nämlich die zu erwartenden Effekte nicht – wie beim PRP Effekt – im Bereich mehrerer einhundert Millisekunden liegen sondern deutlich kleiner sind. Hierfür wäre es dann erforderlich, andere Aufgaben als die Ausführung eines Tapping zu verwenden. Solche anderen Aufgaben hätten jedoch vermutlich den Nachteil, daß die Standardausstattung eines PC nicht bereits die erforderlichen Mittel zur Registrierung der Antworten bietet. Für den letzten oben angeführten Punkt der Vermeidung einer Informationsüberladung der Versuchsperson sei noch angemerkt, daß das kontinuierliche Paradigma diese Anforderung gut erfüllt, daß jedoch mit der Anzahl der in den Experimenten 4 und 5 verwendeten Reize eine erste Grenze der Belastbarkeit bereits erreicht ist. Wie bereits ausgeführt war dies der hauptsächliche Grund, daß in Experiment 4 und 5 nur Stoppsignale (und nicht auch Start und Weitersignale) gezeigt wurden und warum im Unterschied zu den vorausgegangenen Experimenten einzelne, durch Pausen getrennte Durchgänge mit jeweils einem Stoppsignal verwendet wurden und nicht wie in den vorangegangenen Experimenten eine kontinuierliche Abfolge von Signalen ohne eine wirkliche Pause zwischen aufeinanderfolgenden Signalen.

Ausblick: Eine Untersuchung der Kriterien von Automatizität als Forschungsprogramm für die Untersuchung der kognitiven Mechanismen der Emotionsgenese am Beispiel der Überraschung

Ich hoffe, daß ich in dieser Arbeit überzeugend zeigen konnte, daß die Untersuchung einer ausgewählten Emotionskomponente im Hinblick auf ein Kriterium der Automatizität sinnvoll und möglich ist. Im folgenden möchte ich einen Schritt weiter gehen und vorschlagen, die Untersuchung der Automatizität von Emotionskomponenten der Überraschung zu einem ganzen Forschungsprogramm zu machen. Eine solche Untersuchung ist zum einen interessant, weil sich hiermit die der Überraschungsreaktion zugrundeliegenden Mechanismen weiter charakterisieren und aufklären ließen – eine Aufgabe, die für sich genommen wichtig ist. Darüber hinaus läßt sich Überraschung als ein Beispiel für eine ganze Gruppe von Emotionen auffassen (Reisenzein, Meyer & Schützwohl, 1997; Meyer, Reisenzein & Niepel, 2000). Unter dieser zweiten Perspektive würde man also Überraschung mit dem Ziel untersuchen, etwas über Überraschung und andere Emotionen im herauszufinden.

Innerhalb eines solchen Forschungsprogramms könnten neben der Unterbrechungsfunktion auch andere Komponenten der Überraschung, wie etwa die Orientierung der Aufmerksamkeit auf den überraschenden Reiz, der mimische Ausdruck von Überraschung und möglicherweise sogar das Überraschungsgefühl untersucht werden; und neben dem Interferenzkriterium können andere Kriterien, wie etwa die Abhängigkeit der Unterbrechung von vorausgegangenen Intentionen oder die Kontrollierbarkeit untersucht werden. Hierbei ist es natürlich naheliegend, zunächst eine Untersuchung der Unterbrechungsfunktion fortzuführen, und zwar sowohl was die Bestätigung der hier erzielten Ergebnisse bezüglich des Intentionalitätskriteriums durch konvergierende Operationen betrifft, wie auch was eine Untersuchung der Unterbrechungsfunktion mit anderen Kriterien betrifft. Weiterhin erscheint insbesondere die Orientierung der Aufmerksamkeit aufgrund eines überraschenden Ereignisses als leicht untersuchbare Komponente der Überraschungsreaktion, da es hier besonders problemlos möglich sein sollte, Methoden aus der kognitiven Psychologie heranzuziehen und für den vorliegenden Zweck anzupassen. Und vielleicht stellt es sich sogar als möglich heraus zu untersu-

chen, wie sich die Latenz des Überraschungsgefühls etwa in Abhängigkeit von verschiedenen Graden der Interferenz verhält.

Literatur

- Bargh, J. A. (1989). Conditional automaticity: Varieties of automatic influence in social perception and cognition. In J. S. Uleman & J. A. Bargh (Eds.), *Unintended thought* (pp. 3-51). New York, NY: Guilford Press.
- Bargh, J. A. (1992). The ecology of automaticity: Toward establishing the conditions needed to produce automatic processing effects. *American Journal of Psychology*, 105, 181-199.
- Bargh, J. A. (1994). The four horsemen of automaticity: Awareness, intention, efficiency, and control in social cognition. In R. S. Wyer & T. K. Srull (Eds.), *Handbook of social cognition* (2nd ed., pp. 1-40). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bertelson, P. & Boons, J. P. (1960). Time uncertainty and choice reaction time. *Nature*, 187, 531-532.
- Brebner, J. M. T. & Welford, A. T. (1980). Introduction: An historical background sketch. In A. T. Welford (Ed.), *Reaction times* (pp. 1-24). London: Academic Press.
- Cheesman, J. & Merikle, P. M. (1986). Distinguishing conscious from unconscious perceptual processes. *Canadian Journal of Psychology*, 40, 343-367.
- Conrad, C. (1974). Context effects in sentence comprehension: A study of the subjective lexicon. *Memory and Cognition*, 2, 130-138.
- Cooper, R. & Shallice, T. (1997). Modelling the selection of routine action: Exploring the criticality of parameter values. In M. G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the 19th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 131-136). Stanford, CA: Cognitive Science Society Incorporated.
- Cosmides, L., & Tooby, J. (1994). Origins of domain specificity: The evolution of functional organization. In L. A. Hirschfeld, S. A. Gelman & et al. (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 85-116). New York, NY: Cambridge University Press.
- Crick, F. (1994). *Was die Seele wirklich ist: die naturwissenschaftliche Erforschung des*

Bewußtseins. München: Artemis & Winkler.

Darwin, C. (1872). *The expression of the emotions in man and animals*. London: Murray.

De Jong, R., Coles, M. G. H. & Logan, G. D. (1995). Strategies and mechanisms in nonselective and selective inhibitory motor control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 498-511.

De Jong, R., Coles, M. G. H., Logan, G. D. & Gratton, G. (1990). In search of the point of no return: The control of response processes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 164-182.

Desai, M. M. (1939). Surprise: A historical and experimental study. *Britisch Journal of Psychology: Monograph Supplements*, 22.

Eimer, M. (1987). *Konzepte von Kausalität*. Bern: Huber.

Ekman, P. (1999). Basic emotions. In T. Dalgleish & M. Power (Eds.), *Handbook of cognition and emotion* (pp. 45-60). Chichester: Wiley.

Ekman, P., & Friesen, W. V. (1975). *Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial clues*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Fehrer, E. & Biederman, I. (1962). A comparison of reaction time and verbal report in the detection of masked stimuli. *Journal of Experimental Psychology*, 64, 126-130.

Fehrer, E. & Raab, D. (1962). Reaction time to stimuli masked by metacontrast. *Journal of Experimental Psychology*, 63, 143-147.

Friedman, A. , Polson, M. C. & Dafoe, C. G. (1988). Dividing attention between the hands and the head: Performance trade-offs between rapid finger tapping and verbal memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 60-68.

Frijda, N. H., Kuipers, P., & ter Schure, E. (1989). Relations among emotion, appraisal, and emotional action readiness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57, 212-228.

Graham, C. H. (1965). Visual space perception. In Graham, C. H. (Ed.), *Vision and visual perception* (pp. 504-547). New York, NY: Wiley.

Greenwald, A. G. (1970). A double stimulation test of ideomotor theory with implications for selective attention. *Journal of Experimental Psychology*, 84, 392-398.

- Greenwald, A. G. (1992). Unconscious Cognition Reclaimed. *American Psychologist*, 47, 766-779.
- Henry, F. M. & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, 31, 448-458.
- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11-26.
- Hicks, R. E., Provenzano, F. J. & Ebstein, E. D. (1975). Generalized and lateralized effects of concurrent verbal rehearsal upon performance of sequential movements of the fingers by the left and right hands. *Acta Psychologica*, 39, 119-130.
- Horstmann, G., & Schützwohl, A. (1998). Zum Einfluss der Verknüpfungsstärke von Schemaelementen auf die Stärke der Überraschungsreaktion. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 45, 203-217.
- Izard, C. E. (1977). *Human emotions*. New York: Plenum.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye movement. In J. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention & Performance IX*. Hillsdale: NJ: Erlbaum.
- Keele, S. W. (1973). *Attention and human performance*. Pacific Palisades, CA: Good-year.
- Klapp, S. T. (1979). Doing two things at once: The role of temporal compatibility. *Memory & Cognition*, 7, 375-381.
- Ladefoged, P., Silverstein, R., & Papcun, G. (1973). Interruptibility of speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 54, 1105-1108.
- Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaptation*. New York, NY: Oxford University Press.
- Logan, G. D. (1982). On the ability to inhibit complex movements: A stop-signal study of typewriting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 778-792.
- Logan, G. D. (1983). On the ability to inhibit simple thoughts and actions: I. Stop-signal studies of decision and memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 585-606.
- Logan, G. D. (1985). On the ability to inhibit simple thoughts and actions: II. Stop-

- signal studies of repetition priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 675-691.
- Logan, G. D. & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review*, 91, 295-327.
- Logan, G. D., Cowan, W. B. & Davis, A. D. (1984). On the ability to inhibit simple and choice reaction time responses: A model and a method. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 276-291.
- Mandler, G. (1985). *Cognitive psychology. An essay in cognitive science*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mandler, G. (1992a). On remembering without really trying: Hypermnnesia, incubation, and mind-popping. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance XV: Conscious and unconscious information processing* (pp. 1-30). Cambridge: MIT Press.
- Mandler, G. (1992b). Toward a Theory of Consciousness. In H.-G. Geissler, S. W. Link & J. T. Townsend (Eds.), *Cognition, information processing, and psychophysics: basic issues* (pp. 43-65). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McCormick, P. A. (1997). Orienting attention without awareness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 168-180.
- Meyer, W.-U. (1988). Die Rolle von Überraschung im Attributionsprozeß. *Psychologische Rundschau*, 39, 136-147.
- Meyer, W.-U. & Försterling, F. (1993). Die Attributionstheorie. In D. Frey & M. Irle (Eds.), *Theorien der Sozialpsychologie. Band I: Kognitive Theorien* (pp. 175-193). Bern: Huber.
- Meyer, W.-U., Niepel, M. (1994). Surprise. In V. S. Ramachandran (Ed.), *Encyclopedia of human behavior* (Vol. 4, pp. 353-358). Orlando: FL: Academic Press.
- Meyer, W.-U., Niepel, M., Rudolph, U., & Schützwohl, A. (1991). An experimental analysis of surprise. *Cognition and Emotion*, 5, 295-311.
- Meyer, W.-U., Reisenzein, R. & Niepel, M. (2000). Überraschung. In J. H. Otto, H. A. Euler & H. Mandl (Eds.), *Emotionspsychologie. Ein Handbuch* (pp. 253-263). Weinheim: Beltz.
- Meyer, W.-U., Reisenzein, R., & Schützwohl, A. (1995). *A modell of processes elicited by surprising events. Unveröffentlichtes Manuskript*. Universität Bielefeld, Ger-

many.

- Meyer, W.-U., Reisenzein, R., & Schützwohl, A. (1997). Toward a process analysis of emotions: The case of surprise. *Motivation and Emotion*, 21, 251-274.
- Meyer, W.-U., Schützwohl, A. & Reisenzein, R. (1997). *Einführung in die Emotionspsychologie. Band II: Evolutionspsychologische Emotionstheorien*. Bern: Huber.
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11, 56-60.
- Mowbray, G. H., & Rhoades, M. V. (1959). On the reduction of choice reaction times with practice. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11, 16-23.
- Neely, J. H. (1977). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Roles of inhibitionless spreading activation and limited-capacity attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 106, 226-254.
- Neumann, O. (1984). Automatic processing: A review of recent findings and a plea for an old theory. In W. Prinz & A. F. Sanders (Eds.), *Cognition and Motor Processes* (pp. 255-293). Berlin: Springer Verlag.
- Neumann, O. & Prinz, W. (1986). Diesseits des Rubikon: Kognitive Antezedentien von Willkürhandlungen. *Research Group on "Perception and Action" at the Center for Interdisciplinary Research (ZiF)*, Universität Bielefeld, 99.
- Niepel, M. (2000). Zur empirischen Überprüfung des "Bielefelder Modells" der Überraschung. In F. Försterling, J. Stiensmeier-Pelster & L.-M. Silny (Eds.), *Kognitive und emotionale Aspekte der Motivation* (pp. 153-176). Göttingen: Hogrefe.
- Niepel, M. (2001). Independent manipulations of stimulus change and unexpectedness dissociates indices of the orienting response. *Psychophysiology*, 38, 1-8.
- Niepel, M., Rudolph, U., Schützwohl, A. & Meyer, W. - U. (1994). Temporal characteristics of the surprise reaction induced by schema-discrepant visual and auditory events. *Cognition and Emotion*, 8, 433-452.
- Norman, D. A. (1981). Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88, 1-15.
- Norman, D. A. & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. Davidson, G. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self regulation: Advances in research and theory* (Vol. 4, pp. 1-18). New York, NY: Plenum.
- Paap, K. R. & Ogden, W. C. (1981). Letter encoding is an obligatory but capacity-

- demanding operation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 518-527.
- Panksepp, J. (1992). A critical role for "affective neuroscience" in resolving what is basic about basic emotions. *Psychological Review*, 99, 554-560.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, 220-244.
- Pew, R. W. (1966). Acquisition of hierarchical control over the temporal organization of a skill. *Journal of Experimental Psychology*, 71, 764-771.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pich & I. J. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M. I. & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: The Loyola Symposium* (pp. 55-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Prinz, W. (1998). Die Reaktion als Willenshandlung. *Psychologische Rundschau*, 49, 10-20.
- Reisenzein, R. (2000). Exploring the strength of association between the components of emotion syndromes: The case of surprise. *Cognition and Emotion*, 14, 1-38.
- Reisenzein, R., Meyer, W.-U., & Schützwohl, A. (1997). Analyse von Reaktionen auf überraschende Ereignisse: Ein Paradigma für die Emotionsforschung. In H. Mandl (Ed.), *Bericht über den 40. Kongreß der DGfP in München*
- Roseman, I. J. (1998). Why these appraisals? Anchoring appraisal models to research on emotional behavior and related response systems. *unpublished manuscript*.
- Rumelhart, D. E. (1984). Schemata and the cognitive system. In R. S. Wyer & T. K. Srull (Eds.), *Handbook of social cognition* (Vol. 1, pp. 161-188). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rumelhart, D. E. & Norman, D. A. (1978). Accretion, tuning, and restructuring: Three modes of learning. In J. W. Cotton & R. Klatzky (Eds.), *Semantic factors in cognition* (pp. 37-53). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rumelhart, D. E. & Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. In R. C. Anderson, R. J. Spiro & W. E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (pp. 99-135). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Scherer, K. R. (1993). Neuroscience projections to current debates in emotion psychology. *Cognition and Emotion*, 7(1) 1-41.
- Schmidt, R. S. (1988). *Motor control and learning: A behavoiiral emphasis (2nd ed.)*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Schmidt, R. S. (1991). *Motor learning and performance: From principles to practice*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Schützwohl, A. (1998). Surprise and schema strength. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24, 1182-1199.
- Schützwohl, A. & Horstmann, G. (1999). Überraschung, Handlungsunterbrechung und Schemarevision. In M. Jerusalem & R. Pekrun (Eds.), *Emotion, Motivation und Leistung* (pp. 65-77). Göttingen: Hogrefe.
- Schützwohl, A., & Reisenzein, R. (1999). Children's and adults' reactions to a schema-discrepant event: A developmental analysis of surprise. *International Journal of Behavioral Development*, 23, 37-62.
- Shand, A. F. (1914). *The foundations of character*. London: MacMillan.
- Shapiro, D. C. (1977). A preliminary attempt to determine the durartion of a motor program. In R. W. Christina & D. M. Landers (Eds.), *Psychology of motor behavior and sport - 1976. Volume I. Motor Behavior*. Champain, IL: Human Kinetics Publishers.
- Shapiro, L. & Epstein, W. (1998). Evolutionary theory meets cognitive psychology: A more selective perspective. *Mind & Language*, 13, 171-194.
- Shiffrin, R. W. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.
- Slater-Hammel, A. T. (1960). Reliability, accuracy, and refractoriness of a transit reaction. *Research Quarterly*, 31, 217-228.
- Sternberg, S., Monsell, S., Knoll, R. L. & Wright, C. E. (1978). The latency and duration of rapid movement sequences: Comparisons of speech and typewriting. In G. E. Stelmach (Ed.), *Information processing in motor control and learning* (pp. 117-152). New York, NY: Academic Press.
- Tomkins, S. S. (1962). *Affect, imagery, consciousness. Vol. 1. The positive affects*. New York, NY: Springer.

- VanSelst, M., Ruthruff, E., & Johnston, J. C. (1999). Can practice eliminate the psychological refractory period effect? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1268-1283.
- Vince, M. A. & Welford, A. T. (1967). Time taken to change the speed of a response. *Nature*, 213, 532-533.
- Welford, A. T. (1980). The single-channel hypothesis. In A. T. Welford (Ed.), *Reaction times* (pp. 215-252). London: Academic Press.
- Woodworth, R. S. & Schlosberg, H. (1954). *Experimental psychology*. New York: Holt.
- Yantis, S., & Egeth, H. E. (1999). On the distinction between visual salience and stimulus-driven attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 661-676.
- Zbrodoff, N. J., & Logan, G. D. (1986). On the autonomy of mental processes: A case study of arithmetic. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 118-130.